

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
CAMPUS DI RAVENNA
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA DEI PROCESSI E DEI SISTEMI EDILIZI

TESI DI LAUREA IN
DIAGNOSTICA E RESTAURO DEGLI EDIFICI STORICI

**LA CONSERVAZIONE DEL
PATRIMONIO STORICO IMMATERIALE:
IL MICROCLIMA DI VILLA BARBARO A MASER**

CANDIDATO:
Anna Bonora

RELATORE:
Prof. Arch. Marco Pretelli

CORRELATORE:
Prof. Arch. Kristian Fabbri

Anno accademico 2015/2016
Sessione III

Indice

Premessa	pag. 1
-----------------	--------

Capitolo I

Conservazione e microclima

1. Conservazione dei beni culturali e microclima	pag. 5
2. Confidential Facility Report: breve storia	pag. 6
3. Monitoraggio microclimatico: cos'è e come nasce	pag. 10
3.1. Letteratura scientifica	pag. 10
3.2. Modalità di monitoraggio	pag. 12

Capitolo II

Obiettivi e caso studio

1. Finalità della ricerca	pag. 18
2. Storia e descrizione di Villa Barbaro	pag. 20
2.1. Il Cinquecento: storia e struttura tipica delle Ville Venete	pag. 21
2.2. Palladio e I Quattro Libri: principi architettonici e microclima	pag. 25
2.3. La Villa: descrizione	pag. 32

Capitolo III

Metodologia

1. Conoscenza del fabbricato	pag. 46
1.1. Ricerche d'archivio	pag. 46
1.2. Monitoraggio in sito	pag. 48
2. Modello virtuale (Virtual Environment Building)	pag. 48

Capitolo IV

Monitoraggio

1.	Il Monitoraggio: pratica preventiva e strumento di indagine	pag. 50
1.1.	Campagna di misurazione	pag. 51
1.2.	Errori e semplificazioni adottate	pag. 54
1.3.	Risultati	pag. 55
	1.3.1. Temperatura e Umidità Relativa	pag. 55
	1.3.2. Illuminamento	pag. 64
	1.3.3. CO2	pag. 67

Capitolo V

Modellazione

1.	La Modellazione	pag. 69
1.1.	Realizzazione del modello virtuale	pag. 69
1.2.	Software utilizzato: IES.VE	pag. 71
	1.2.1. Variabile geografica	pag. 72
	1.2.2. Variabile stratigrafica	pag. 73
	1.2.3. Variabile climatica	pag. 75
2.	Errori e semplificazioni adottate	pag. 70

Capitolo VI

Risultati

1.	Simulazione dello stato di fatto	pag. 78
1.1.	Simulazione termodinamica: il Modulo APACHE	pag. 78
1.2.	Calibrazione del modello	pag. 79
1.3.	Simulazione fluidodinamica CFD	pag. 82
	1.3.1. Virtual Building 1: stato di fatto	pag. 84

Capitolo VII

Ipotesi progettuale

1.	Il rischio microclimatico	pag. 90
1.1.	Umidità Relativa	pag. 93
1.2.	Temperatura dell'aria	pag. 95
1.3.	Il caso della Pinacoteca di Brera	pag. 97
2.	Proposta progettuale	pag. 99
2.1.	Risultati	pag. 100
	2.1.1. Temperatura dell'aria	pag. 100
	2.1.2. <i>Virtual Building 2</i> : ipotesi progettuale	pag. 103
	2.1.3. Confronto diretto: <i>Air Temperature</i> e PPD	pag. 108

Capitolo VIII

Discussione, conclusioni e prospettive

1.	Alcune considerazioni sui dati del monitoraggio	pag. 111
2.	Conclusioni	pag. 111
3.	Possibili sviluppi	pag. 114
3.1.	Altre possibili applicazioni della metodologia descritta	pag. 114
	Glossario	pag. 116
	Registro delle immagini	pag. 118
	Registro delle norme	pag. 120
	Bibliografia	pag. 121
	Sitografia	pag. 125
	Apparato 01: I grafici della Villa	pag. 126
	Ringraziamenti	pag. 129

.

1. Premessa

Nel seguente elaborato si è voluto mostrare come sia possibile studiare il *microclima*¹ indoordi un edificio, in questo caso di un edificio storico, tramite una metodologia che risulta essere efficace ed in grado di verificare diverse variabili che contribuiscono e determinano il grado di comfort di chi vive il manufatto e, al contempo, la conservazione dei beni ivi conservati.

La metodologia proposta è stata descritta nella maniera più chiara possibile, ossia tramite un esempio di *monitoraggio microclimatico*² effettuato su Villa Barbaro, una villa veneta realizzata a Maser tra il 1554 ed il 1560 dall'architetto, teorico dell'architettura e scenografo italiano del Rinascimento Andrea Palladio (1508-1580). Villa Barbaro è stata dichiarata dall'Unesco "Patrimonio Mondiale" nel 1996. Attualmente la Villa è parzialmente abitata e parzialmente musealizzata: le uniche sale aperte al pubblico sono le sei situate in corrispondenza al piano nobile. L'intero dell'edificio è caratterizzato dalla presenza di numerosi affreschi, realizzati dal pittore italiano Paolo Caliari, detto "Il Veronese" (1528-1588).

La metodologia d'indagine adottata ha previsto il posizionamento di tre sonde all'interno di due sale del piano nobile di Villa Maser, nel quale attualmente gli impianti di climatizzazione sono inattivi, col fine di misurare parametri ambientali di vario tipo, tra cui: temperatura dell'aria, umidità relativa, illuminazione e CO2. I dati acquisiti dal monitoraggio, la cui durata è stata pari a sei mesi, dal 21/06 al 29/12 2016, hanno permesso di procedere a valutare il microclima con l'impiego di un *software* di simulazione dinamica: *IES.VE*³. La realizzazione del modello virtuale è in grado di mostrare il comportamento fisico del microclima interno tramite simulazioni termodinamiche e fluidodinamiche, permettendo l'elaborazione di ipotesi utili a garantire una migliore e più attenta conservazione della Villa in sé e dei materiali in essa contenuti: al centro della ricerca vi è dunque il microclima caratteristico di questo

¹ Glossario

² Ibidem

³ Integrated Environmental Solutions

edificio e le sue modificazioni, agendo attraverso fattori piuttosto semplici, in grado di indirizzare quelle varianti: fattori che lo determinano sia in modo diretto e volontario, sia indiretto e dunque involontario.

Pertanto, risulta innanzitutto necessario definire che cosa si intenda con il termine “microclima”: innanzitutto quando si parla di microclima i volumi di interesse alla quale si fa riferimento è sempre di piccole dimensioni ed è importante distinguere se si sta parlando di microclima interno, come nel caso di questa ricerca, o di microclima esterno. Trattando di microclima esterno ci si può riferire infatti ad una piazza o all’angolo di una strada, mentre se analizziamo il microclima interno, il luogo di interesse si identifica il più delle volte in una o più vani. Studiando il microclima interno è possibile stabilire quali fattori abbiano un’influenza diretta sullo stato fisico dei monumenti; si considera un complesso di parametri climatici, tra cui temperatura, umidità relativa, velocità dell’aria, CO₂, illuminazione naturale e non, ecc., la cui complessa interazione determina il microclima stesso.

Microclima interno ed esterno sono distinti, ma presentano aspetti che possono essere analizzati tramite la stessa modalità di indagine: il ciclo giornaliero della temperatura; dell’umidità; la ventilazione naturale e, nel caso di microclima interno, quella artificiale; le radiazioni dovute all’irraggiamento solare diretto o attraverso aperture; gli spostamenti d’aria, che possono derivare dai venti, ma anche dallo spostamento delle persone o dalla presenza di impianti HVAC⁴ per quanto riguarda i luoghi interni; le precipitazioni, che in alcuni casi possono penetrare anche in luoghi chiusi; l’inquinamento dell’aria, ecc. La principale, e sostanziale, differenza tra microclima interno ed esterno è dovuta al fatto che il microclima interno. Due quesiti che è interessante porsi sono: *se* e quando è necessario farlo e *come* farlo.

È stato deciso inoltre di strutturare lo sviluppo della tesi descrivendo le ricerche che sono state effettuate, la strumentazione utilizzata e restituendo i risultati emersi e le conseguenti valutazioni che ne scaturiscono, secondo lo stesso ordine cronologico con cui sono state logicamente organizzate e affrontate le indagini sul tema trattato.

⁴ Glossario

Si è cercato inoltre di mostrare nella maniera più chiara ed esaustiva possibile quello che è stato il procedimento metodologico adottato nel corso dell'indagine.

Il primo capitolo affronta l'individuazione del problema e le strategie per affrontarlo, partendo da un quadro generale, che tratta la conservazione dei beni culturali, e definendo il concetto di *microclima*, per poi restringere il campo ad un quadro più specifico. Si analizza infatti il funzionamento di un protocollo di gestione, studiato originariamente per essere applicato in campo museale. Viene inoltre introdotto ed affrontato il tema del monitoraggio microclimatico; accennati alcuni riferimenti riguardo a chi in passato ha già trattato questo tema; il capitolo si conclude con la descrizione dello specifico funzionamento degli strumenti utilizzati per il caso studio in esame.

Il secondo capitolo esplicita le finalità della ricerca e descrive Villa Barbaro sia dal punto di vista artistico ed architettonico, che dal punto di vista storico. Si fa riferimento ai diversi passaggi di proprietà a cui è stata soggetta la Villa nel corso degli anni, con i relativi effetti sulla architettura e si descrivono alcune delle principali stanze e caratteristiche architettoniche della Villa stessa. Inoltre si parla dell'architettura tipica delle ville venete del Cinquecento e di ciò che è emerso dalla lettura de "*I Quattro Libri dell'architettura*" di Andrea Palladio, in merito ai riferimenti al microclima ed ai principi architettonici caratteristici dell'architetto.

Il terzo capitolo si concentra sulla metodologia adottata: viene descritto il percorso effettuato per la conoscenza della fabbrica, ricerche d'archivio, ricerche dirette; il monitoraggio in sito, per poi concludersi con la realizzazione di un modello virtuale della Villa; esecuzioni di analisi col fine di ipotizzare strategie che possano determinare un maggiore comfort per chi vive o visita l'edificio, garantendo al contempo una corretta manutenzione dell'edificio stesso.

Il capitolo seguente si concentra sul monitoraggio, descrivendo e mostrando, tramite delle immagini scattate in loco, il posizionamento delle sonde; viene descritta la campagna di misurazione ed infine vengono presentati i dati ottenuti dal monitoraggio

microclimatico, relativi quindi alle variabili ambientali analizzate: temperatura dell'aria, illuminamento, umidità relativa e presenza di CO₂.

Nel corso del quinto capitolo viene descritto il processo di modellazione e realizzazione del modello virtuale ed esplicita le principali difficoltà incontrate e le semplificazioni che è stato necessario adottare in corso d'opera per ottenere una corretta gestione dei dati ed una coerente restituzione dei risultati.

Successivamente, nel sesto capitolo, vengono mostrati e commentati i risultati finali: la simulazione relativa allo stato di fatto di Villa Barbaro; la simulazione termodinamica - il modulo APACHE; la simulazione fluidodinamica CFD; lo studio del rischio microclimatico e l'analisi del livello di comfort. Questi sono accompagnati dalle relative restituzioni grafiche, in modo tale da rendere i risultati emersi più chiaramente e rapidamente leggibili.

Infine, nell'ultimo capitolo, quello conclusivo, si avanzano alcune considerazioni su quanto emerso nel corso dell'esperienza di studio, ipotizzando quali possano essere eventuali sviluppi e ipotetiche applicazioni della metodologia descritta nella tesi.

Capitolo I

Conservazione e microclima

1. Conservazione dei beni culturali e microclima

I seguenti parametri climatici: temperatura, umidità relativa, CO₂, illuminamento, regolano le condizioni climatiche di un ambiente e dunque, nel caso di ambienti chiusi, condizionano anche il benessere delle persone ivi. Esistono varie opinioni su chi debba avere la priorità nel determinare le migliori condizioni microclimatiche tra visitatori e beni storici culturali: l'obiettivo dovrebbe essere quello di individuare il miglior compromesso.

La norma UNI EN 15757:2010 “Conservazione dei beni culturali - Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici”⁵ è finalizzata al controllo del clima in edifici dove vengono conservati beni culturali sensibili alle variazioni microclimatiche. Tale norma sviluppa i concetti base introdotti dalla UNI 10969:2002 “Beni Culturali - Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni”⁶.

Individuare ed intraprendere percorsi che assicurino la tutela e la preservazione dei beni culturali e che al contempo ne permettano la totale fruibilità, è molto complesso. Tale difficoltà è legata a diverse problematiche, tra cui quello che deriva dalle esigenze turistiche della società contemporanea, come anche quelle connesse alle evoluzioni tecnologiche ed economiche odierne.

Il Confidential Facility Report, un protocollo con lo scopo di rendere più efficiente ed efficace, per quanto possibile, questa problematica gestione, è lo strumento elaborato e proposto da Marco Filippi, Professore emerito, docente di fisica tecnica presso il Politecnico di Torino, che qui si è deciso di adottare.

⁵ Norma UNI EN n.15757, 2010

⁶ Norma UNI n.10969, 2002

2. Confidential Facility Report: breve storia

L'articolo 29 comma 1 del DLG 22-01-2004, n.42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio" recita: "La conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro"⁷, è infatti questo l'approccio a cui tendono i ricercatori incontrati a Venaria Reale⁸. Durante tale incontro si è parlato di dimore storiche, conservazione, restauro, monitoraggio, manutenzione e prevenzione.

In questa occasione è stato citato il *Confidential Facility Report* (CFR)⁹, redatto, come già accennato, dal docente del Politecnico di Torino Marco Filippi e le cui caratteristiche e la cui utilità verranno di seguito esplicitate.

Con il D.M. del Ministero per i Beni e le Attività Culturali del 10 Maggio 2001, "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei (art. 150, comma 6, del D.L. n. 112 del 1998)", ha preso avvio a livello nazionale un'importante fase di analisi delle strutture museali e di definizione dei parametri di riferimento, su cui misurare la qualità del servizio. Il tema degli Standard museali in Italia ha evidenziato le principali differenze di approccio nelle varie Regioni e le differenti fasi di processo ed i benefici attesi da ciascuna.

Verranno qui schematizzate cronologicamente tali fasi:

- Nel 2003 è stato avviato un piano di lavoro per la definizione degli standard museali, in applicazione dell'Atto di indirizzo citato sopra, con il duplice obiettivo di individuare le priorità per l'erogazione dei contributi e quello di creare una procedura per l'accreditamento delle istituzioni museali;
- Dal 2005 al 2008 si ha la pubblicazione degli Standard, con relative istruzioni ed eventuali approfondimenti, nella collana "Materiali per musei", che comprende i

⁷ Decreto Legislativo n.42, 22 gennaio 2004

⁸ Il 27/04/2016 ho avuto la possibilità di visitare Venaria Reale, a Torino, e di parlare con alcuni ricercatori che lavorano attivamente nel campo di indagine di questa tesi.

⁹ Glossario

titoli: Rapporti con il Pubblico, Strutture e Sicurezza, Assetti Finanziari, Rapporti con il Territorio e Gestione e Cura delle Collezioni;

- Dal 03 Luglio 2012 è on-line la pagina istituzionale della Regione Piemonte dedicata al sistema di accreditamento museale: procedura di autovalutazione da cui dipende il centro di Venaria Reale, è finalizzata al raggiungimento degli obiettivi di qualità in ambito di strutture e sicurezza, personale, gestione e cura delle collezioni, rapporti con il pubblico, rapporti con il territorio, status giuridico e finanziario.

Il titolo di “Accreditato”, “Accreditabile Sub Condizione” e “Non Accreditabile” ha validità triennale. Ciascun museo è tenuto a presentare istanza, almeno 120 giorni prima della naturale scadenza del medesimo, per confermare o migliorare il proprio livello di qualità, pena la decadenza dello stesso.

Il duplice risultato al quale questo procedimento mira, tramite il sistema di accreditamento museale è, da una parte, quello di incentivare e sostenere i musei affinché raggiungano adeguate performance di funzionamento e, dall'altra, quello di dotare la Regione di un sistema di programmazione che consenta un'allocazione delle risorse il più razionale e sostenibile possibile.

Inoltre, la collaborazione richiesta dalla Regione Piemonte al Politecnico di Torino, per supportare la raccolta organizzata di informazioni sullo stato delle strutture museali, si è concretizzata con la redazione del sopracitato Confidential Facility Report; l'effettuazione di brevi periodi di monitoraggio ambientale e anche con la verifica dei progetti di intervento finanziati dalla Regione, che mira alla “*verifica della rispondenza agli Standard regionali degli interventi di rifunzionalizzazione, riqualificazione, recupero o riallestimento già effettuati*”¹⁰ o previsti per il futuro.

¹⁰ Regione Piemonte, Deliberazione della Giunta regionale, 29 maggio 2012, n.24-3914, Decreto Ministeriale 10.5.2001. *Standard di qualità nei musei Piemontesi – Approvazione modalità e procedura di accreditamento e linee guida per la prosecuzione e lo sviluppo del progetto*

I *Facility Report*, consistono in procedure scritte che permettono di valutare i possibili rischi dovuti ai prestiti di opere d'arte, vengono ormai considerati non più sufficienti, data l'importanza e la necessità odierna di indagini più dettagliate che permettano di raccogliere informazioni utili per il supporto dei processi decisionali volti a migliorare il sistema di qualità dell'istituzione museale: strutture organizzative, procedure e risorse specifiche per il mantenimento della qualità. Con queste premesse nascono i *Confidential Facility Report*, validi sia per l'analisi critica, sia per l'accreditamento delle istituzioni museali e per i prestiti delle opere d'arte. L'attributo "*confidential*" deriva dal fatto che essi possono contenere informazioni riservate, quali, ad esempio, quelle relative alla sicurezza e alle condizioni di conservazione. Il *Confidential Facility Report* viene applicato ai musei giudicati "non accreditabili" e consiste in una fotografia della situazione del museo preso in analisi e nel mettere in luce lo stato di fatto della qualità delle strutture, della sicurezza e della gestione delle collezioni e nel sottolinearne le principali criticità. Tale procedura può essere affiancata anche da monitoraggi ambientali, in corrispondenza delle opere e nei locali considerati più critici. I monitoraggi hanno solitamente una breve durata, pari a circa due mesi, ed il fine primario del procedimento è quello dell'ottenimento delle migliori condizioni di conservazione.

Per ciò che concerne gli sviluppi futuri del CFR si ritiene *interessante un possibile adattamento ed applicazione, se necessario, a varie tipologie di patrimonio storico culturale*, inclusi musei, edifici storici, chiese, complessi monumentali, ma anche ad edifici come ospedali: non espressamente dedicati ad ospitare beni culturali, ma con alcune problematiche per alcuni aspetti simili.

Processo del Confidential Facility Report:

Documenti che caratterizzano le fasi del processo¹¹:

- *DD Data Document* – compilato dal rilevatore per la descrizione della struttura
- *CFR Confidential Facility Report* – per il direttore
- *FR Facility Report* – per il prestatore
- *RR Registration Report* – per accreditarsi secondo gli standard regionali

¹¹ Glossario

- *EX Executive Summary* – sommario che evidenzia le principali criticità e le priorità di azione

I tecnici del Politecnico effettuano un sopralluogo per integrare le informazioni raccolte nel documento di autovalutazione e per esaminare nel dettaglio la struttura discutendone con il responsabile. Successivamente viene redatto un elaborato descrittivo della situazione e riassuntivo delle principali criticità riscontrate. Infine l'elaborato viene presentato ai responsabili del museo, convocati presso la Direzione Regionale.

“La raccolta delle informazioni e la messa in luce di eventuali criticità avviene sia tramite una attività di rilievo in campo (DD) che tramite dei momenti di workshop”¹². Il fine di tali workshop è l'analisi dei bisogni, il dibattito sulle problematiche proprie dell'istituzione e sulle modalità organizzative per la gestione delle strutture, della sicurezza e la conservazione delle collezioni e la condivisione delle informazioni tecniche: durante il workshop si attiva infatti un dibattito con diverse figure professionali interne ed esterne al museo. Esso si può inoltre svolgere anche in momenti differenti, con la finalità di rendere tutti gli operatori del museo partecipi degli avanzamenti e delle analisi in corso.

Il tema della conservazione preventiva e del controllo microclimatico è fortemente sentito anche nella regione della Toscana: *“Il Confidential Facility Report è l'elaborato più completo, costituito da una serie di schede e viene redatto grazie alle informazioni precedentemente raccolte”¹³. Il CFR viene inoltre completato con un *Executive Summary*, in cui si evidenziano in sintesi le criticità, in modo da creare una lista di priorità di intervento che si adatti alle reali esigenze.*

¹² Regione Toscana, *Conservazione preventiva e controllo microclimatico nel contesto degli standard museali*, Giugno 2010

¹³ Ibidem

3. Monitoraggio microclimatico: cos'è e come nasce

Il monitoraggio microclimatico è la procedura che permette di rilevare le condizioni del microclima e dunque di individuare eventuali problematiche in ambienti interni ed esterni, oggi oggetto di attenzione per ottenere una migliore fruizione degli spazi, sia dal punto di vista del manufatto, sia per quanto riguarda il comfort di chi lo vive. La possibilità di controllare l'insieme dei fattori ambientali che determinano il microclima, inoltre, consente di stabilire quale sia la giusta conservazione degli oggetti situati nell'area analizzata e di individuare le cause strutturali o transitorie di deterioramento: essenziale per costruire una base dati per progetti di restauro. Il monitoraggio inoltre, permette di mantenere nel tempo le condizioni ottimali e di constatare che le norme e i parametri di legge siano rispettati.

Tale attività rappresenta quindi una fase importante per poter analizzare lo stato attuale di un ipotetico edificio, permettendo così di definire gli interventi utili da attuare per poter migliorare il microclima, sia in caso di uso turistico, nel caso di un edificio museale, sia in quello residenziale, per chi vive quotidianamente l'edificio, sia infine per l'adeguata conservazione del manufatto stesso. Si tratta dunque di una pratica preventiva che permette di valutare e prevedere le interazioni tra l'oggetto e l'ambiente.

3.1. Letteratura scientifica

Uno dei primi ricercatori che si avvicinò al tema del microclima fu Robert Howard Garry Thompson (1925-2007) che negli anni Settanta si occupò della tutela dei beni mobili preservati in ambito museale. Thompson formulò alcune teorie sulla conservazione preventiva in ambito museale, scientificamente valide ancora oggi per chi valuta il rapporto tra conservazione e microclima. In seguito, a partire dagli anni Ottanta, il monitoraggio di ambienti confinati (come il monitoraggio indoor di musei, chiese, edifici storici, ecc.) è stato esteso ad ambienti outdoor accoglienti monumenti di elevata valenza architettonica. In questo caso, un contributo scientifico rilevante è dato dalle pubblicazioni di Dario Camuffo (1941), che offrono un apporto conoscitivo molto utile per una corretta conservazione dei Beni culturali.

La migliore strategia per la conservazione dei beni che costituiscono l'*heritage*¹⁴ è quella che permette di individuare per tempo le situazioni di rischio e stabilire delle soglie di allarme al di sotto delle quali le condizioni di conservazione risultino a rischio. Le cosiddette situazioni di rischio possono essere determinate da fattori di tipo fisico, chimico e biologico. Tali fattori sono infatti la principale causa del degrado materico. Per gli ambienti interni le variazioni di temperatura e di umidità costituiscono i principali rischi per i beni che si vogliono preservare e per la conservazione dell'edificio stesso: queste variazioni sono causa di dilatazioni, contrazioni, evaporazioni, etc.: il fenomeno che si deve sempre cercare di evitare è quello che porta alla formazione di condensa, poiché l'umidità, una volta condensata su una superficie contribuisce fortemente al degrado dei materiali costitutivi.

Gael De Guichen, ingegnere chimico, ha proposto specifiche metodologie, pensate per gli edifici museali. De Guichen, infatti, era membro dell'ICCROM¹⁵: organizzazione dedicata alla conservazione del patrimonio culturale mondiale. Tale istituzione mira a valorizzare il settore della conservazione e del restauro e informa e sensibilizza sul tema della fragilità del patrimonio culturale. Nel 1995 De Guichen pubblicò "Cahiers d'étude", elaborato nel quale si evidenziava un cambio radicale di mentalità nei confronti della gestione del patrimonio: si invitava il lettore a modificare il suo modo di pensare, passando da una visione più ristretta ad una più ampia: *"chi prima pensava all' 'oggetto' oggi deve pensare alla 'collezione'; chi prima pensava al 'conservatore-restauratore' oggi deve pensare ad una 'equipe multidisciplinare'; chi prima pensava alla 'sala' oggi deve pensare all' 'edificio'; chi prima pensava al 'clima' oggi deve pensare ad un 'insieme di agenti'; [...]"*¹⁶. Inoltre, tramite l'ICCROM, nel settembre del 1975 si tenne un corso di "Prevenzione nei musei" ed uno dei principali docenti del corso fu Garry Thomson, già citato sopra. Secondo quanto emerge da un'intervista a

¹⁴ Patrimonio

¹⁵ Centro Internazionale di Studi per la Conservazione ed il Restauro dei Beni Culturali: Associazione intergovernativa nata nel 1956; dal 1978 denominato ICCROM, sigla che nasce da "The International Centre for Conservation" e "The Roma Center".

¹⁶ www.revista.ge-iic.com: *Medio siglo de Conservación Preventiva. Entrevista a Gaël de Guichen* - Entrevista realizada por el Comité Científico Técnico del GEIIC (Marisa Gómez y Benoît de Tapol), Agosto de 2009.

Gael de Guichen risalente al 2009, tale corso permise di evidenziare la rilevanza del fattore microclimatico nell'ambito della prevenzione e vennero definite cinque categorie di cosiddetti "aggressori": naturale lento; naturale rapido; umano lento; umano rapido e professionale. Per questi aggressori vennero elaborate cinque strategie differenti, che contribuirono alla costruzione di un Piano di Conservazione Preventiva¹⁷.

Per eseguire il monitoraggio ambientale oggi vengono adottati sistemi tecnologici, come quelli predisposti dalla società Heneasis, di cui si parlerà al paragrafo 3.2. in questo capitolo. Tali sistemi permettono l'acquisizione dei parametri ambientali, naturali e artificiali, utili ad individuare le cause del degrado dell'oggetto di studio. Vengono utilizzate delle sonde abbinate a *data loggers*, con i quali è possibile programmare il numero di rilievi giornalieri ed immagazzinare i dati. L'avanzamento tecnologico odierno permette una trasmissione dati in tempo reale, via rete mobile, con la possibilità di una piattaforma di gestione da remoto, che permette di verificare il corretto funzionamento delle sonde e modificare, se necessario, la alcuni dei parametri della raccolta dati.

3.2. Modalità di monitoraggio

Grazie alla collaborazione con l'azienda Heneasis è stata possibile l'installazione di alcune sonde ambientali all'interno del piano nobile di Villa Barbaro, il che ha dato avvio alla campagna di monitoraggio¹⁸ microclimatico indoor nella medesima. Questa società è stata fondata nel 2007 e nasce come spin-off della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa. Heneasis offre un sistema *Wireless Sensor Network Beesper* (Beesper-WSN) ad enti pubblici e privati, con possibilità di funzionamento in *white labeling*, ovvero permettendo la personalizzazione del prodotto da parte di chi lo acquista. Tale sistema è adatto per il monitoraggio di ambienti a distanza, poiché permette l'acquisizione dei dati per lunga durata e garantisce un funzionamento automatico.

¹⁷ Ibidem

¹⁸ Della campagna di monitoraggio si parlerà all'interno del capitolo IV

Come spiega Luca Ascari, ricercatore e fondatore di Heneasis, in un'intervista del 2011 a la Repubblica: “[...] *abbiamo sviluppato un sistema di monitoraggio degli edifici che permette ai costruttori di dare un valore aggiunto all'immobile. Le applicazioni di questo sistema possono essere le più varie, come il controllo climatizzazione di musei e altri impianti.*”¹⁹ Il sistema di monitoraggio *Beesper* permette infatti di rilevare parametri ambientali di diverso tipo, tra cui: temperatura ambientale, umidità relativa, presenza di CO2, luminosità, qualità dell'aria e pressione. Tale sistema è essenzialmente composto da: un hardware, tramite il quale vengono rilevati e raccolti i dati; una *suite software*, grazie alla quale è possibile archiviare i dati, elaborare segnali e generare informazioni; infine la *Beesper console*, ossia un portale *web* per informazioni georeferenziate, configurazione e generazione di report.

Il servizio fornito da Heneasis nell'ambito del monitoraggio ambientale è risultato particolarmente utile per il rilevamento e la raccolta dei dati nel caso studio di Villa Barbaro a Maser, principalmente per la possibilità di avere una piattaforma di gestione da remoto. I dati acquisiti dalle sonde sono perciò accessibili on-line in qualsiasi momento e da qualsiasi luogo, tramite computer portatile o altro dispositivo mobile e si ha la possibilità di condividere i dati con più utenti.

- Trasmissione dati:

Il sistema è dotato di una tecnologia grazie alla quale si ha una rete senza fili stabile e affidabile tra i nodi e il *Bridge*. I “nodi” sono dotati di vari sensori, che come si è già detto misurano determinate caratteristiche fisiche. Essi comunicano tra loro e trasmettono i dati al *Bridge* tramite un sistema *Wireless*. Il *Bridge*, come suggerisce il nome, svolge la funzione di “ponte di trasmissione dati”: una volta acquisiti i dati li trasmette alla piattaforma principale, ossia la *Bridge console*, accedendo alla quale, tramite un PC o un apposito *device*, è possibile visualizzare i dettagli dei nodi posizionati per l'analisi del caso studio.

¹⁹ la Repubblica.it, Heneasis, in Italia non si cresce si va a Londra, 7 novembre 2011

Questa rete di comunicazione, come accennato sopra, può essere personalizzata a seconda delle esigenze: può essere infatti, ad esempio, estesa con nodi aggiuntivi, che si integrano con la rete esistente.

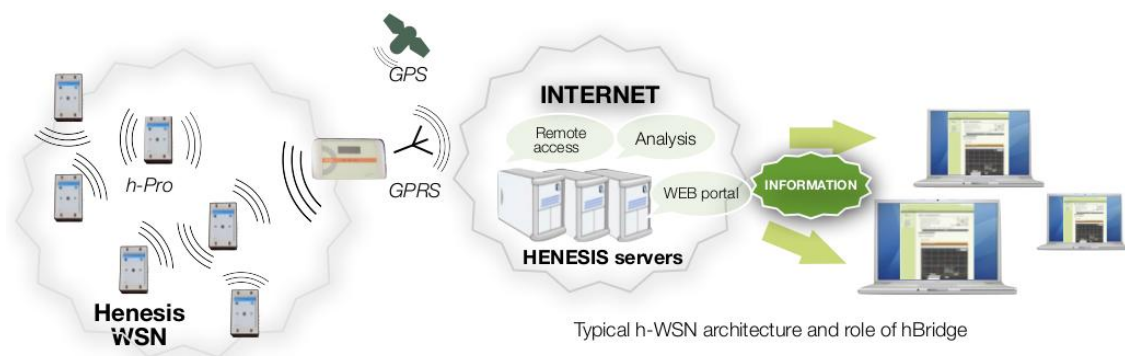


Immagine 1_Funzionamento del sistema Henesis Beesper²⁰

La strumentalizzazione utilizzata per il rilevamento nel caso studio affrontato si compone quindi di:

- *Beesper Nodes²¹ A*: Pensato per essere utilizzato come nodo di misura: i sensori al suo interno sono in grado di misurare la temperatura ambientale; l'umidità e la pressione; il livello di luce e il livello di rumore. Si tratta di un nodo ad alta performance e modulo wireless. È inoltre dotato di una serie di sensori e interfacce digitali ed analogiche per terzi sensori esterni. Infine, i connettori presenti consentono il collegamento di sensori esterni come sensori di CO₂, misuratori di potenza, ecc.
- *Beesper Nodes B*: Questo nodo è dotato di sensori che permettono la misurazione della temperatura ambientale, umidità, pressione e il livello di luminosità presente nell'ambiente. Si tratta di un nodo in grado di poter ospitare ulteriori sensori esterni; è munito di un'interfaccia *bluetooth* per la configurazione *wireless* e per poter scaricare i dati acquisiti, ed è dotato di una

²⁰ Registro delle immagini

²¹ Glossario

memoria *flash*, o *microSD*, che consente di poter scaricare dati in un secondo momento.

- *Beesper Bridge*²²: Necessario per quanto riguarda l'acquisizione dei dati di ogni nodo e la loro trasmissione, tramite connessione *wireless*, alla piattaforma internet: si tratta di quindi di un ponte di trasmissione dati. Questo elemento è stato concepito in modo tale da poter funzionare sia in piena autonomia, sia collegato alla fonte di alimentazione esterna. Il suo contenitore plastico, sigillato e con scatola antimanomissione, lo rende adatto sia per uso interno sia esterno. Viene alimentato a pile ed è dotato di sensore GPS che consente la geolocalizzazione dei dati raccolti.
- *Beesper console*²³: Piattaforma online che consente l'accesso alle reti dei sensori *Beesper*, permettendo quindi la visualizzazione e la gestione dei dati. L'interfaccia è molto semplice ed intuitiva e offre la visualizzazione immediata di tutte le reti e nodi posizionati nel luogo soggetto all'analisi. Inoltre, nella *home page* è visibile la geolocalizzazione delle sonde. Da tale *Home page* è possibile proseguire con la visualizzazione dei dettagli riguardanti la rete e i nodi configurati: selezionando “*view details*” sarà infatti possibile accedere ad una pagina dove vengono mostrati anche gli andamenti delle sonde; le informazioni dei nodi sono accessibili singolarmente per la visualizzazione delle misure dei sensori presenti, o raggruppati per tipo di sensore o per area geografica, per le analisi aggregate; è possibile impostare la frequenza di campionamento e la trasmissione dei nodi dal portale.

²² Ibidem

²³ Ibidem

L'interfaccia della Home page è la seguente:

-In questa immagine esemplificativa la località indicata è Firenze poiché le sonde sono state utilizzate per una precedente Tesi il cui oggetto di studio era situato a Firenze ed il dato, dal momento che non incide con la buona riuscita dell'analisi, non è stato modificato-

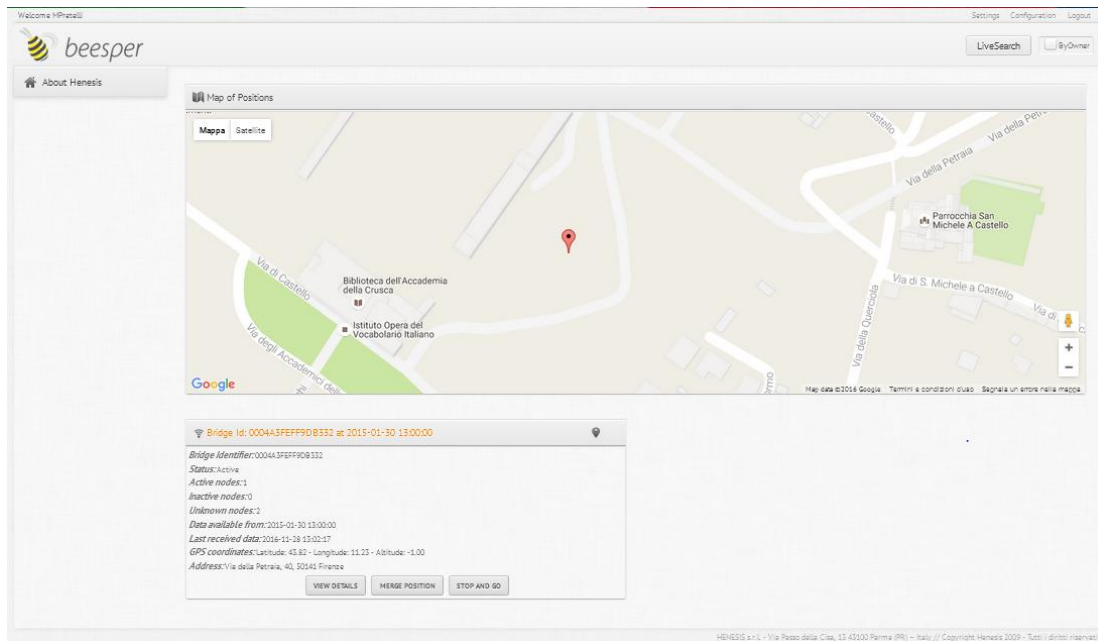


Immagine 2_Interfaccia home page Beesper Console²⁴



Immagine 3;4_Tipologie di nodi e Beesper Bridge²⁵

Le immagini soprastanti mostrano un *Beesper Bridge*, in alto a destra, e delle sonde, della stessa tipologia di quelle che sono state posizionate all'interno di Villa Barbaro per

²⁴ Ibidem

²⁵ Ibidem

eseguire il monitoraggio microclimatico indoor. Le caratteristiche funzionali sono dunque quelle sopradescritte per ciascun apparecchio della ditta Henesis.

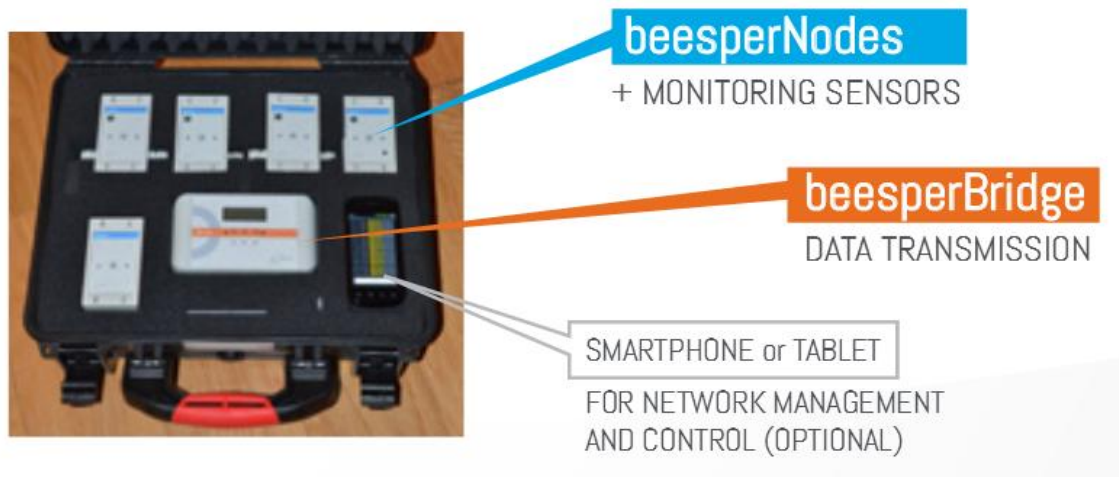


Immagine 5_Strumenti necessari per il monitoraggio Henesis²⁶

Grazie ai dati acquisiti è stato possibile, in un secondo momento, elaborare alcuni grafici su un foglio di calcolo del programma Microsoft Excel, i quali hanno permesso di confrontare ed analizzare nel dettaglio i diversi parametri rilevati nei vani studiati. Inoltre, grazie a questi dati, si è potuta effettuare la taratura del modello 3D realizzato con IES. VE, favorendo l'analisi dello stato della Villa. In seguito sono stati utilizzati anche per l'elaborazione di alcune simulazioni digitali del microclima indoor, con l'ipotesi di alcune variazioni architettoniche. Queste fasi verranno spiegate nel dettaglio successivamente nel presente elaborato.

²⁶ Ibidem

Capitolo II

Obiettivi e Caso studio

1. Finalità della ricerca

Verranno esplicitati di seguito gli obiettivi ed anticipato l'approccio che è stato adottato per il caso studio in esame:

All'interno di questa tesi viene affrontato il tema del microclima interno e lo studio che è stato effettuato riguarda l'analisi microclimatica di Villa Barbaro, a Maser (TV), progettata e realizzata dall'architetto rinascimentale Andrea Palladio (1508-1580) tra il 1554 e il 1560. La Villa è stata dichiarata dall'Unesco "Patrimonio Mondiale" nel 1996; con tale classificazione si riconosce che essa presenta delle particolarità di eccezionale importanza da un punto di vista culturale ed artistico. Il tempietto Barbaro, situato ai piedi della Villa e realizzato sempre dal Palladio nella seconda metà del XVI secolo, fa parte del complesso.

È stata fatta un'indagine sul microclima indoor di alcune sale situate al piano nobile di Villa Barbaro, i dati microclimatici sono stati rilevati tramite delle sonde, che hanno permesso il raccoglimento di diversi parametri, tra cui: CO₂, indicatore della qualità dell'aria e della presenza di visitatori all'interno degli ambienti studiati; illuminamento; temperatura dell'aria e umidità relativa. Tali sonde sono state situate nella Stanza a Crociera, nella Stanza del Cane e nella stanza del Tribunale d'amore. Ovvero tre delle sei sale aperte al pubblico: il resto della Villa è infatti attualmente abitato e non è permesso ai visitatori di accedervi. Nello schema planimetrico (immagine n.6) i vani che sono corrispondono rispettivamente: il numero 1, il 2 e il 3.

Lo studio dei dati ottenuti dalle sonde ha permesso in primo luogo di avere una prima panoramica su quali fossero le attuali condizioni microclimatiche interne degli ambienti analizzati; in secondo luogo, è stato possibile confrontare tali dati con quelli risultanti da una modellazione *BIM*²⁷ (*Building Information Modeling*²⁸) dell'edificio, effettuata con il software di simulazione dinamica IES.VE. Una volta calibrati i dati derivanti dalle analisi del software con quelli rilevati dalle sonde, è stato possibile effettuare

²⁷ Glossario

²⁸ Traduzione italiana: modello di informazioni di un edificio

simulazioni termodinamiche e fluidodinamiche, le quali ci hanno permesso di ottenere informazioni utili per potere ipotizzare e simulare strategie migliorative che garantiscano un maggiore comfort ai visitatori ed una buona conservazione del manufatto stesso, caratterizzato peraltro dalla presenza di numerosi affreschi. Su questi ultimi è stato calcolato inoltre l'attuale rischio microclimatico, dovuto ai livelli di umidità relativa e di temperatura dell'aria ed è stata ipotizzata una diversa gestione delle sale aperte ai visitatori, in modo tale da poter valutare se l'accensione degli impianti di climatizzazione, attualmente inattivi, potrebbe favorire o meno la conservazione degli affreschi presenti in Villa.

LEGENDA: ■ Stanze aperte al pubblico

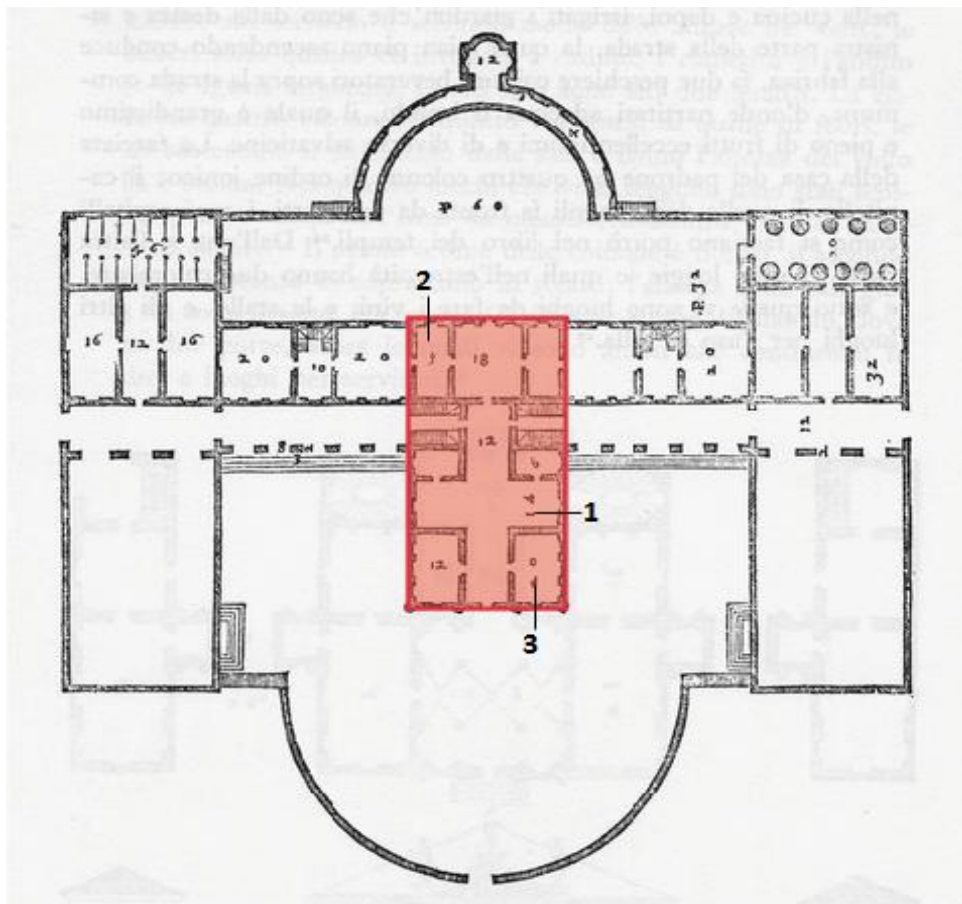


Immagine 6_Stanze monitorate²⁹

²⁹Registro delle immagini

2. Storia e descrizione di Villa Barbaro

Andrea Palladio realizzò Villa Barbaro tra il 1554 e il 1560, per volere di Daniele e Marcantonio Barbaro: i due fratelli ereditarono dal padre Francesco, nel 1550, le terre che la famiglia possedeva da tempo a Maser ed una residenza padronale, alla cui decorazione aveva partecipato, nel 1548, Gianbattista Ponchini(1500-1570), noto pittore italiano del Cinquecento.

La residenza Barbaro, allora vecchia casa dominicale, venne trasformata in una delle più famose Ville palladiane, caratterizzata da un ciclo di affreschi che rappresenta un capolavoro della pittura veneta del Cinquecento, realizzato per mano di Paolo Calliari(1528-1588), detto il Veronese. Il complesso della Villa include anche un tempio palladiano, inserito dall'UNESCO, insieme alla Villa stessa, nella lista dei patrimoni dell'umanità nel 1996.



Immagine 7_Villa Barbaro: veduta aerea³⁰

³⁰ Ibidem

2.1. Il Cinquecento: storia e struttura tipica delle Ville Venete

La diffusione della tipologia della Villa-fattoria veneta, conosciuta in tutto il mondo, è la conseguenza di precise condizioni storiche, economiche e politiche della Repubblica di Venezia. Quindi, per comprendere il fenomeno della “*civiltà delle ville*”³¹ è necessario inquadrarne la nascita e lo sviluppo.

Agli inizi del Quattrocento la Serenissima Repubblica di Venezia decise di rendere più sicuri i propri confini, essendo minacciata via mare dall’espansione dell’impero Ottomano e via terra dai Visconti: spinse i propri confini fino a Brescia e Bergamo, annettendo quindi grandi aree della pianura padana e delle colline venete allo “*stato da terra*”³². A questo momento seguì dunque un periodo di pace, che rese le campagne più sicure. La nobiltà veneziana, che aveva accumulato grandi ricchezze grazie ai traffici marittimi, si trovò perciò costretta ad abbandonare la propria tradizione guerresca, pena la confisca dei beni, e cominciò ad investire denaro e tempo verso l’acquisizione e la gestione di possedimenti terrieri.

Nella seconda metà del secolo, diversi avvenimenti di portata internazionale iniziarono a mettere in crisi il dominio marittimo della Repubblica di Venezia e, nel giro di vent’anni la Serenissima dovette trovare altri sbocchi per affermare la propria potenza: i Turchi infatti presero Costantinopoli nel 1452; Trebisonda nel 1461; l’isola di Negroponte nel 1470; inoltre la scoperta dell’America determinò grandi cambiamenti nelle rotte marittime. L’entroterra rimaneva dunque l’unica valida alternativa per Venezia: “[...] nel 1454 la Pace di Lodi veniva a sancire la sua volontà di inserirsi tra i principali stati italiani, consolidando il proprio dominio di terraferma.”³³. A far sì che Venezia considerasse finalmente la terraferma come sua principale fonte di sopravvivenza, furono gli anni della guerra della lega di Cambrai³⁴.

³¹ A. Franzina, “Andrea Palladio: le ville”, Touring Editore, Milano, 2002

³² Con il termine “Domini di terraferma” e “Stato da terra” venivano indicati i territori assoggettati dell’entroterra padano-veneto.

³³ D. Battilotti, “le Ville di Palladio”, Milano, Electa, 1990

³⁴ Lega contro la Repubblica di Venezia, formata il 10 Dicembre 1508 dal Sacro Romano Impero, Francia e Spagna per mantenere un’egemonia su diversi territori della penisola italiana.

Per queste ragioni, tra il 1530 ed il 1560, molti nobili veneziani ripiegarono dalle tradizionali attività di tipo mercantile allo sfruttamento di vastissime proprietà agricole. Anche nel secolo precedente i veneziani disponevano di possedimenti agricoli, ma queste terre erano in gran parte paludose e senza alcuna rilevanza economica. Verso la metà del Cinquecento, però, ebbero inizio vasti programmi di bonifica su quegli stessi terreni, che un tempo risultavano essere paludosi e improduttivi: questa operazione fu successivamente istituzionalizzata nel 1556, quando *“il Senato approvò una legge che istituiva il Magistrato dei beni inculti e lo autorizzava a sovvenzionare le bonifiche e a coordinare i piani dei singoli imprenditori e dei consorzi [...] Nei settant’anni tra il 1510 ed il 1580 il gettito fiscale della proprietà di terraferma si quadruplicò.”*³⁵.

Nacque dunque la necessità di realizzare delle fabbriche che non fossero più legate esclusivamente alla villeggiatura in campagna del cittadino, che si recava in essa per dedicarsi all’*otium*, bensì, come nel caso di Villa Barbaro, la Villa divenne anche la principale dimora dei suoi proprietari. Gli edifici richiesti dai nuovi proprietari terrieri dovevano perciò ospitare la famiglia, ma al tempo stesso anche il bestiame e gli strumenti necessari per i lavori agricoli, assumendo un tono di magnificenza, pur essendo economici. L’architetto che riuscì a progettare al meglio edifici funzionali ma, al contempo, appariscenti fu Andrea Palladio: dal punto di vista architettonico la villa veneta raggiunse infatti i migliori esiti grazie alle opere di Palladio, nel Cinquecento; egli riuscì a combinare esigenze estetiche e funzionali, realizzando un tipo di villa che è conosciuta ed apprezzata ancora oggi. Prima di lui tentarono di interpretare queste nuove esigenze anche altri architetti, come Sansovino(1486-1570) e Sanmicheli(1484-1559), che però, rispettando la tradizione dell’architettura tipica toscana, avevano optato per la separazione del corpo padronale dai complessi rustici, contrariamente al Palladio, che riuscì a realizzare ville dalla struttura equilibrata, riunendone le diverse funzioni in un unico organismo.

La struttura tipo della villa veneta è riconoscibile principalmente per il contesto nel quale essa è collocata: congruentemente alla loro funzione, le ville erano inserite in

³⁵ J.S. Ackerman, “Palladio”, Giulio Einaudi Editore s.p.a., Torino, 1972

grandi proprietà agricole. Tipicamente, al centro del complesso architettonico vi è il corpo centrale, o casa dominicale, ossia la residenza dei proprietari, caratterizzata, in quanto luogo di rappresentanza, da decorazioni e particolare pregio architettonico. *“A seconda delle varie province del dominio della Repubblica, la composizione architettonica della villa assume caratteri tipologici diversi pur mantenendo invariati gli elementi che la compongono”*³⁶: oltre all’edificio principale, nonché dimora del proprietario, generalmente priva di riscaldamento e di cucina, possono esservi una o due barchesse, situate nelle vicinanze o direttamente collegate alla villa. Qui veniva organizzato il lavoro: vi erano le cucine; le stalle; i magazzini destinati agli attrezzi; le abitazioni dei contadini; ecc..

Il modello prevedeva inoltre la presenza di una o due torri colombaie, tipicamente a pianta quadra; spesso ottenute dalla trasformazione di precedenti torri fortificate: esse ospitavano ambienti di servizio e venivano utilizzate per l’allevamento dei piccioni. Un altro elemento della villa veneta è il brolo, adibito alla coltivazione di alberi da frutto e di ortaggi. Esso era ricavato generalmente tra il retro della facciata principale della villa ed i campi coltivati. Le ville-fattorie, inoltre, si presentavano solitamente circondate da un muro di cinta, il quale presentava due diversi ingressi: l’ingresso principale, che dava sulla strada, e l’ingresso secondario, che costituiva invece il collegamento tra il fondo agricolo e la villa.

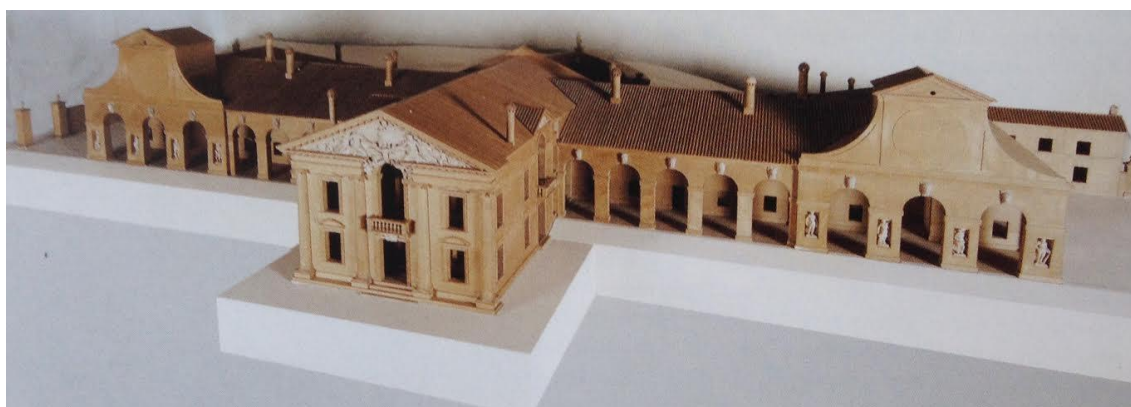


Immagine 8_Modello di Villa Barbaro 1971³⁷

L’immagine soprastante mostra una maquette di Villa Barbaro, realizzato in legno di tiglio e faggio, con dettagli in biscotto di porcellana a scala: 1:33. Si trova a Vicenza, al

³⁶ G. Paccheri, PDF. estratto da www.irv.net, *“Che cosa sono le Ville Venete”*, 2016

³⁷ Registro immagini

Centro Internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio. Curatore: Renato Cevese; Disegnatore: Andrej Soltan; Realizzatore: Ballico-Officina modellisti sas.

Villa Barbaro rappresenta un'assoluta novità, non solo nella produzione del Palladio, ma anche, come viene spiegato al paragrafo 2.3. di questo capitolo, nel campo dell'architettura delle ville venete del Cinquecento. Essa rappresenta un modello che verrà ripreso in alcune ville, come nelle secentesche Villa Rinaldi Barbini; Villa Barbarigo; Villa Allegri Arvedi; ma anche nelle ville realizzate nel Settecento dal Muttoni³⁸: Villa Fracanzan Piovene a Orgiano e Villa Zileri da Verme a Biron di Monteviale. Le ville appena citate sono situate in una posizione analoga a Villa Maser, ovvero lungo il declivio di un colle e presentano un giardino anteriore articolato a terrazze.

Palladio riusciva a nascondere una grande semplicità, dettata da necessità economiche, dietro ad un aspetto di magnificenza che riusciva a dare alle ville, nonostante esse fossero realizzate con materiali semplici ed economici, come si evince dal testo di James S. Ackerman, in "Palladio": *"Le ville palladiane erano costruite in muratura grezza di mattoni, rivestita da un intonaco a stucco, e perfino le colonne erano per la maggior parte in mattoni. L'uso della pietra lavorata era ristretto ai particolari più rifiniti, come le basi e i capitelli delle colonne e le cornici delle finestre [...] Se i clienti di Palladio fossero stati più ricchi e di gusti meno sobri, probabilmente non vi sarebbero stati scalpellini in numero sufficiente a far fronte al boom edilizio che si ebbe in terraferma nel periodo 1550-70. [...] Una delle ragioni per cui le ville di Palladio non sono state riprodotte spesso in libri di fotografia è l'aspetto squallido degli intonaci corrosi dalle intemperie [...]"*³⁹

³⁸ Francesco Antonio Muttoni(1669-1747), Architetto e studioso di architettura italiano

³⁹ J.S. Ackerman, "Palladio", Giulio Einaudi Editore s.p.a., Torino, 1972

2.2. Palladio e I Quattro Libri: principi architettonici e microclima

*“C’è proprio qualcosa di divino nelle sue costruzioni, veramente come l’energia di un grande poeta che, dalla verità e dalla finzione, ricava una terza entità la cui secreta esistenza ci affascina”*⁴⁰, così Johann Wolfgang von Goethe, in *“Viaggio in Italia”*, definisce l’architettura del Palladio. Andrea di Pietro della Gondola (era questo il suo nome di battesimo), infatti, mise a punto nel Cinquecento una tipologia di villa che rappresentò un modello insuperato per diversi secoli, e non solo in Veneto.

Egli nacque nel 1508 in una famiglia modesta, a Padova, dove iniziò la propria attività di scalpellino, che proseguì poi a Vicenza: nel 1530 lavorava presso la bottega di due noti tagliapietre vicentini, Girolamo Pittoni e Giovanni Porlezza. Fu in questo atelier di Vicenza che lo scoprì Giangiorgio Trissino (1578-1550), umanista italiano, poeta e tragediografo che si interessava di linguistica e di architettura. Quest’ultimo conferì all’architetto Andrea *“il nome altisonante [...] : Palladio appunto”*⁴¹ e lo introdusse alla nobiltà vicentina: nel 1538, a Padova, Palladio conobbe Alvise Cornaro, scrittore, letterato e mecenate italiano.

"Palladio" era il nome del personaggio di un angelo nel poema epico di Gian Giorgio Trissino: *“L’Italia liberata dai Goti”* (1527, pubbl. 1547). Questo nome rappresenta anche un riferimento indiretto alla mitologia greca: Pallade Atena era la dea della sapienza, della tessitura, delle arti e degli aspetti più nobili della guerra; Pallade, a sua volta, è un’ambigua figura mitologica, talvolta maschio talvolta femmina che, al di fuori della sua relazione con la dea, è citata soltanto nell’Eneide di Virgilio. Infine, è stata avanzata anche l’ipotesi⁴² che il nome possa avere un’origine numerologica che rimanda al nome di Vitruvio.

Alla realizzazione di opere per privati Palladio affiancava anche incarichi pubblici: *“L’assegnazione nel 1546 della ricostruzione delle logge che avvolgono su tre lati il tardogotico palazzo pubblico di Vicenza, cioè la Basilica, un’impresa per la quale*

⁴⁰ J.W. Goethe, *“Viaggio in Italia”* (1786-1787), Mondadori, Milano, 2016

⁴¹ M. Azzi Visentini, *“Le Ville in Italia. Quattrocento e Cinquecento”*, Milano, Electa, 1995

⁴² vedi Paolo Portoghesi (a cura di), *La mano di Palladio*, Torino, Allemandi, 2008, p. 177.

erano stati precedentemente consultati i maggiori architetti del tempo (Giulio Romano, Michele Sanmicheli, Jacopo Sansovino e Sebastiano Serlio), ne sancisce il riconoscimento ufficiale.”⁴³ e la migliore introduzione e diffusione dei principi architettonici caratteristici dello stesso Palladio è rappresentata dal testo de “*I Quattro Libri dell’Architettura*”, di Andrea Palladio. Tale trattato venne pubblicato a Venezia nel 1570, da Domenico de Franceschi, quando l’architetto vicentino aveva ormai sessantadue anni ed è diviso, come suggerisce il titolo, in quattro parti: il primo libro è dedicato ai materiali e alle tecniche costruttive, dunque agli ordini architettonici di tipo tuscanico, dorico, ionico, corinzio e composito e della progettazione degli elementi architettonici più comuni: i diversi tipi di logge; porte e finestre; tipologie di coperture e scale; camini; le stanze e le loro altezze; soffitti a volta; ecc..

Il secondo libro tratta invece svariati progetti architettonici di ville e palazzi, realizzati dal Palladio: tra cui nove palazzi signorili di città; ventidue ville signorili, delle quali tredici completate, cinque realizzate parzialmente e quattro incompiute; ma vi è anche una sezione dedicata alle case dei greci e alle ville degli antichi romani. Questo secondo libro, dove viene riportato anche il progetto di Villa Barbaro, si divide in due parti: i capitoli introduttivi esplicano i principi generali della concezione della villa secondo Palladio; a seguire vengono presentate le tavole relative a numerosi progetti che mostrano l’applicazione di tali principi e di come l’architetto riesca ad adattarli ogni volta alle caratteristiche del sito ed alle esigenze dei committenti.

Nel terzo libro vengono affrontati temi riguardanti la costruzione di strade, piazze, ponti e basiliche, tra le quali viene riportata la Basilica di Fano⁴⁴ e la Basilica Palladiana di Vicenza, inserita nella lista dei patrimoni dell’umanità dell’UNESCO nel 1994.

Il quarto libro, infine, si occupa dei templi e degli edifici romani: Palladio vi pubblicò i rilievi di ventisei edifici romani antichi.

La pubblicazione de *I Quattro Libri*, fu seguita dalla traduzione in tre lingue: francese⁴⁵, inglese⁴⁶ e russo⁴⁷; dunque la loro facile accessibilità, fece sì che l’architettura del

⁴³ Ibidem

⁴⁴ Opera attribuita a M. Vitruvio Pollione: architetto e teorico vissuto nel I secolo a.C.

⁴⁵ Pubblicata nel 1650, « *Les Livres d’architecture* », trad. Roland Fréart de Chambray, editore Edme Martin, Parigi

⁴⁶ Pubblicata nel 1715, “*The Architecture of A. Palladio*”, traduzione di Giacomo Leoni, prima edizione pubblicata a Londra

Palladio venisse largamente conosciuta in tutto il mondo. Il grande successo di questo trattato è forse anche dovuto alla conformazione dello stesso, che, come si legge nel libro di Margherita Azzi Visentini, *“La Villa in Italia. Quattrocento e Cinquecento”*, è considerato uno dei capolavori dell’editoria veneziana del Cinquecento, data la sua *“straordinaria integrazione tra testo e immagine nello spazio della stessa pagina, dove la parte scritta, estremamente sintetica, si limita a completare, con poche, essenziali notizie riguardanti il sito, la committenza, le proporzioni e la copertura degli ambienti, gli artisti che hanno collaborato alla decorazione dell’edificio e alcune sue peculiarità, quanto non può essere direttamente dedotto dall’esame della tavola, raffigurante pianta e alzato del complesso [...]”*⁴⁸. Esso è dunque un libro di chiara e facile lettura.

Nella propria opera Palladio fa diversi riferimenti e considerazioni in merito alle conseguenze che il clima esterno ed il microclima interno possono apportare alle opere architettoniche. Egli definisce quali siano gli orientamenti e le collocazioni geografiche migliori per evitare che fattori come temperatura dell’aria ed umidità relativa compromettano le opere ed il benessere di chi le vive. Inoltre, l’architetto descrive come procedere nella progettazione delle fabbriche, col fine di sfruttare al meglio i benefici legati al clima, traendone ottimali apporti di illuminazione; calore in inverno; fresco in estate; ecc..

(Si specifica che per lo studio del trattato palladiano si è fatto riferimento ad un’edizione elettronica pubblicata il 15 Settembre 2009, copia anastatica di A. Palladio *“I Quattro Libri dell’Architettura”*, Hoepli, Milano, 1980)⁴⁹.

Nel primo capitolo del primo libro de *“I Quattro Libri”*, Andrea Palladio parla di come e di quali materiali utilizzare per la realizzazione delle fabbriche; il tema viene infatti esplicitato dal titolo del capitolo: *“Quali cose devono considerarsi e prepararsi avanti che al fabbricar si pervenga”*. Nel suddetto capitolo Palladio indica quali siano le condizioni climatiche adatte al mantenimento del legno; delle pietre; della sabbia; dei metalli; ecc.; cosicché la qualità degli stessi possa essere adeguata alla realizzazione di edifici duraturi. Per quanto riguarda il legno, le indicazioni che vengono date

⁴⁷ Pubblicata nel 1798, *Russky Pallady*, traduzione di Nikolaj Lvov; 1938, Ivan Zholtovsky.

⁴⁸ M. Azzi Visentini, *“Le Ville in Italia. Quattrocento e Cinquecento”*, Milano, Electa, 1995

⁴⁹ Il PDF è reperibile online al seguente link:

[http://www.liberliber.it/mediateca/libri/p/palladio/i quattro libri dell architettura/pdf/palladio i quattro libri dell a.pdf](http://www.liberliber.it/mediateca/libri/p/palladio/i%20quattro%20libri%20dell%20architettura/pdf/palladio_i_quattro_libri_dell_a.pdf)

concernono il periodo in cui vanno tagliati gli alberi, ossia in autunno ed in inverno; dove va mantenuto il materiale una volta tagliato, cioè lontano dal sole, ma anche dalle piogge e dai venti; ed il periodo del giorno in cui va lavorato, ovvero dopo mezzogiorno, per evitare l'umidità portata dalla rugiada, che si avrebbe al mattino presto, ma anche l'eccessiva secchezza: *“I Legnami si deono tagliare l'Autunno, e per tutto il Verno, percioche allhora gli alberi ricuperano dalle radici quel vigore, e sodezza, che nella Primavera, e nella Estate per le frondi, e per li frutti era sparso [...] Tagliati; si riporranno in luogo, oue non vengano caldissimi Soli, ne impetuosi venti, ne piogge: e quelli massimamente deono essere tenuti al coperto[...] Non si deono tirare per la rugiada, ma dopo il mezzodi: ne si deono lauorare, essendo di rugiada bagnati, o molto secchi; percio che quelli facilmente si corrompono, e questi fanno bruttissimo lauoro: Ne auanti tre anni saranno ben secchi per vso de' palchi, e delle porte, e delle fenestre.”*⁵⁰. Riguardo all'utilizzo delle pietre, l'architetto indica quali utilizzare per assicurare una buona resistenza a fattori climatici quali vento, ghiaccio e pioggia, che nel corso della vita dell'edificio attaccheranno sicuramente la fabbrica stessa: *“si cauano la Estate, accioche non essendo elle auezze a' venti, alle piogge, & al ghiaccio; a poco a poco si induriscano, & diuengano atte a resistere a simili ingiurie de' tempi. Et tanto tempo si lasciano, accioche scelte quelle, che saranno state offese; siano poste nelle fundamenta, e l'altre non guaste, come approuate; si pongano sopra la terra nelle fabriche: perche lungamente si manterranno.”*⁵¹.

Palladio evidenzia inoltre come sia incorretto e, perlopiù dannoso per i complessi architettonici, l'utilizzo di sabbie mescolate ad acqua e sottoposte per un lungo periodo forti venti ed ai raggi sole, fattori che le renderanno fangose, umide ed inclini alla crescita di *“arboscelli, e fichi selvatici, che sono di grandissimo danno alle fabriche”*⁵².

Richiamano l'interesse e l'attenzione del Palladio, nel progettare le proprie opere, sia la collocazione del complesso (è preferibile un sito che possa garantire principalmente la salubrità dei proprietari) sia l'orientamento delle singole stanze e dunque delle stesse finestre, delle quali calcola minuziosamente anche quali siano le dimensioni ottimali, di

⁵⁰ A. Palladio, *“I Quattro libri dell'Architettura”*, Hoepli, Milano, 1980, edizione elettronica del 15 Settembre 2009, copia anastatica. Pag. 14

⁵¹ A. Palladio, *op. cit.*, Pag. 15

⁵² A. Palladio, *op. cit.*, pag. 17

modo da poter godere di una buona luce e buoni apporti di calore. La disposizione di tutti questi elementi permette inoltre di studiare ottimali correnti d'aria, che possano garantire ambienti mediamente freschi anche durante i periodi estivi: *“Si deue auertire nel far le finestre, che ne piu ne meno di luce piglino, ne siano piu rare, o spesse di quello, che'l bisogno ricerchi. Pero si hauera molto riguardo alla grandezza delle stanze, che da quelle deono riceuere il lume: Percioche cosa manifesta e che di molto piu luce ha dibisogno vna stanza grande, accioche sia lucida, e chiara, che vna picciola: e se si faranno le finestre piu picciole e rare di quello, che si conuenga; renderanno i luoghi oscuri: e se eccederanno in troppo grandezza; li faranno quasi inhabitabili: perche essendoui portato il freddo, & il caldo dall'Aria; saranno quei luoghi secondo le stagioni dell'anno caldissimi, e freddissimi [...] Le finestre di sopra, cioe quelle del secondo ordine deono essere la sesta parte minori della lunghezza della luce di quelle di sotto [...] stando in vna parte della casa; si possa vedere fin dall'altra: il che apporta uaghezza, e fresco la Estate, & altri commodi”*⁵³.

L'architetto riprende il tema della disposizione e della dimensione degli ambienti anche al capitolo II del secondo libro, in cui specifica che la realizzazione delle cantine sotterranee permette di salvaguardare i piani superiori, ossia quelli abitati dai proprietari della fabbrica, dall'umidità proveniente dal terreno; inoltre specifica che le stanze estive debbano essere ampie, spaziose e rivolte a settentrione, mentre quelle invernali devono essere orientate a ponente e saranno di dimensioni ridotte, in modo tale da non disperdere calore: *“percioche nella estate noi cerchiamo l'ombre, & i uenti, e nell'inuerno i Soli, & le picciole stanze piu facilmente si scaldaranno che le grandi”*⁵⁴.

Per l'autunno e la primavera, egli reputa siano più adatte le stanze volte ad oriente, locazione consona anche per gli studi e librerie, date le favorevoli condizioni microclimatiche mattutine tipiche di questo orientamento: garantisce una giusta quantità di calore ed una buona illuminazione. Un esempio della messa in pratica delle suddette teorie, inerenti all'orientamento ed alla collocazione delle stanze nelle ville palladiane, la riporta lo stesso Palladio, sempre nel secondo libro, quello dedicato alle ville: riferendosi alla sala principale di Villa Cornaro, a Piombino, commissionata

⁵³ A. Palladio, *op. cit.*, Pag. 97-98

⁵⁴ A. Palladio, *op. cit.*, Pag. 127

all'architetto nel 1552, Palladio scrive: *“la Sala è posta nella parte più a dentro della casa, accioche sia lontana dal caldo e dal freddo”*⁵⁵.

Per quanto riguarda il sito nel quale realizzare la villa nel suo complesso, Palladio, nel secondo libro, specifica che *“se si potrà fabbricare sopra il fiume; sarà cosa molto comoda e bella[...]*⁵⁶, poiché sarà possibile raggiungere la fabbrica in barca ed inoltre il sito apporterà molto fresco durante il periodo estivo. L'architetto sottolinea inoltre che bisogna tenere la fabbrica lontana da acquitrini e *“acque morte, che non corrono”*⁵⁷, né bisogna costruire nelle *“Valli chiuse dai monti”*⁵⁸, poiché gli edifici ivi costruiti sono insalubri ed inabitabili, caratterizzati da un'umidità elevata e, nelle giornate di sole, da eccessivo calore.

L'interesse di Palladio nel preservare la fabbrica dall'umidità lo si legge anche nel quarto, nonché ultimo, libro della sua opera, dove, al capitolo XIX, descrivendo il tempio di Giove Tonante⁵⁹ scrive: *“faceuano gli Antichi il primo muro molto gross, accchioche l'humidità non penetrasse nella parte di dentro dell'edificio”*⁶⁰

Tipicamente, inoltre, nelle ville-fattorie venete, i vini venivano custoditi nelle cantine, la cui costruzione, come già visto sopra, avveniva sottoterra e Andrea Palladio sottolinea che esse debbano ricevere luce da settentrione, altrimenti i vini si scaldano *“e si guasteranno”*⁶¹. I granai invece, indica sempre Palladio, poiché non si scaldino troppo con il calore del sole, ma si conservino più a lungo grazie all'effetto mitigatore del vento, *“deono auere il lume uerso Tramontana”*⁶².

Nella realizzazione dei propri progetti Palladio rispettava diversi principi, tra cui, ad esempio, quello di gerarchia; il principio di integrazione: *“mediante la proporzionalità e in tre dimensioni, delle parti fra loro e col tutto”*⁶³; quello della proporzione e

⁵⁵ A. Palladio, *op. cit.*, Pag. 201

⁵⁶ A. Palladio, *op. cit.*, Pag. 185

⁵⁷ Ibidem

⁵⁸ A. Palladio, *op. cit.*, Pag. 186

⁵⁹ Tempio romano andato distrutto, di cui oggi non vi sono testimonianze archeologiche, ma dal trattato di Palladio si evince che fosse costruito sulle pendici del Campidoglio.

⁶⁰ A. Palladio, *op. cit.*, Pag. 459

⁶¹ A. Palladio, *op. cit.*, Pag. 187

⁶² Ibidem

⁶³ J.S. Ackerman, *“Palladio”*, Giulio Einaudi Editore s.p.a., Torino, 1972

dell'armonia. Egli, nella realizzazione delle ville-fattorie (ed anche negli altri edifici da lui progettati), teneva conto dei vari rapporti tra larghezze, altezze, profondità, sia nel corpo centrale, che nelle tipiche barchesse laterali. Tra essi vige una gerarchia delle parti: il corpo principale predomina sui porticati laterali ed esso ospitava la famiglia dei proprietari, mentre alle barchesse erano destinati i servizi più semplici. Questo criterio di gerarchia viene accentuato dallo stile che l'architetto utilizza per le diverse parti: vengono impiegati gli ordini più nobili per il corpo padronale, ossia ionico e corinzio; mentre veniva generalmente utilizzato il tuscanico per le barchesse, come in Villa Badoer a Fratta Polesine⁶⁴, o il rustico ad arcate a Villa Barbaro.

La gerarchia delle funzioni appena descritta veniva rafforzata e confermata dal fatto che Palladio paragonasse l'edificio al corpo umano, e così come accade in quest'ultimo, anche nei complessi architettonici: *"deono essere alcune pari riguardevoli, e honorate, e alcune meno eleganti"*⁶⁵. Palladio riteneva dunque che, come Dio aveva creato l'uomo lasciando le parti esteticamente belle esposte e quelle meno belle, ma funzionali, ben nascoste, così dovesse fare lui con la realizzazione delle ville e dei palazzi: il nucleo centrale rappresenta la testa del corpo umano e l'asse di simmetria che lega quest'ultimo con le barchesse laterali simboleggia la spina dorsale. Questo parallelismo fa sì che la villa palladiana sia un organismo compatto e armonico *"in cui nulla si può togliere o aggiungere se non a scapito dell'equilibrio dell'insieme"*⁶⁶.

In Villa Maser egli esprime al meglio l'integrazione dei due mondi: quello rurale e quello aristocratico. A spingere Palladio a riunire le diverse funzioni in un unico complesso architettonico è una visione che può essere definita di tipo urbanistico: ne *"I Quattro Libri dell'Architettura"* si legge infatti che *"la Città non sia altro che una certa casa grande, e per lo contrario la casa una città piccola"*⁶⁷.

Le opere di Palladio si caratterizzano inoltre per lo stretto legame con il luogo nel quale sorgono, il quale, se non predeterminato come nel caso di Villa Barbaro da edifici antichi già esistenti, deve essere funzionale alla gestione agricola dei terreni:

⁶⁴ Progettata da Andrea Palladio nel 1554 e realizzata nel 1556-1563

⁶⁵ A. Palladio, *op. cit.*, Pag. 126

⁶⁶ M. Azzi Visentini, "Le Ville in Italia. Quattrocento e Cinquecento", Milano, Electa, 1995

⁶⁷ A. Palladio, *op. cit.*, Pag. 186

“[...]eleggerassi luogo quanto sia possibile comodo alle possessioni, e nel mezo di quelle: accioche il padrone senza molta fatica possa scoprire, e migliorare i suoi luoghi d'intorno, e i frutti di quelli possano acconciamente alla casa dominicale esser dal lauoratore portati”⁶⁸.

Infine, per quanto riguarda i materiali utilizzati per le ville palladiane, come già introdotto al paragrafo 2.1. del capitolo corrente, risulta limitatissimo l'utilizzo della pietra, la quale veniva impiegata solo per la realizzazione di elementi decorativi, come capitelli e cornici, e gli interni venivano decorati ad affresco e con ornamenti di stucco. Però, per la realizzazione delle ultime ville, come quella realizzata a Santa Sofia di Pedemonte, Villa Sarego (1565 circa), vengono impiegati materiali più preziosi e meno economici: *“ai mattoni e all'intonaco il maestro preferisce pesanti blocchi di pietra calcarea, utilizzati per le colonne di ordine ionico che corrono intorno al cortile”⁶⁹.* Ogni villa palladiana costituisce chiaramente un caso a sé stante, è stato perciò descritto di seguito, al paragrafo 2.3., il progetto di Villa Barbaro, a Maser, caso studio della presente tesi.

2.3. La Villa: descrizione

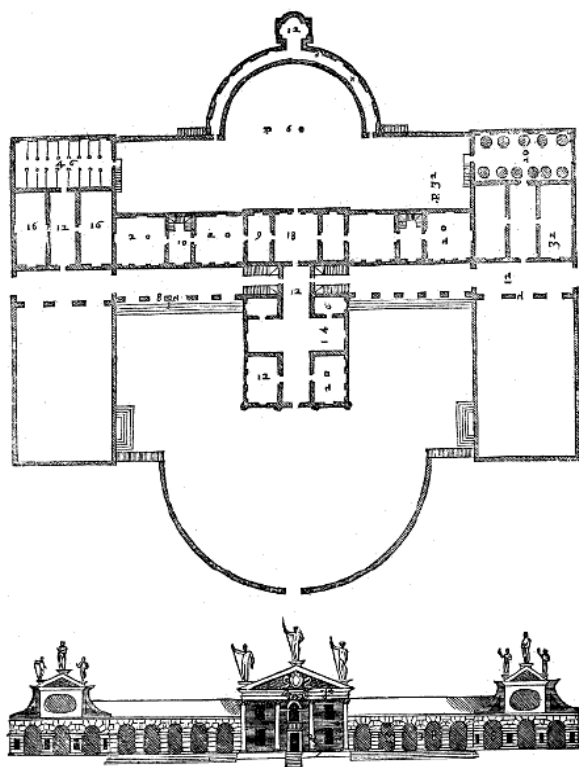
Per descrivere Villa Barbaro va specificato sin dal principio quali furono le principali difficoltà che dovette affrontare Palladio per la realizzazione della fabbrica, ossia quelle imposte dal sito e dalla ingombrante partecipazione dei committenti: i fratelli Barbaro.

Daniele e Marcantonio Barbaro, infatti, si dimostrarono una committenza particolarmente importante e vollero partecipare attivamente alla realizzazione del complesso. Daniele Barbaro, nominato Petriarca eletto di Aquileia nel 1550, era uno studioso di stampo umanistico ed apparteneva all'élite governante di Venezia; egli era inoltre uno studioso di Vitruvio, del quale nel 1556 pubblicò una traduzione commentata dei *“Dieci Libri dell'Architettura”*, con una collaborazione del Palladio, che fornì anche alcuni disegni. Il fratello Marcantonio, anch'egli appassionato di

⁶⁸ A. Palladio, *op. cit.*, Pag. 184

⁶⁹ A. Franzina, *“Andrea Palladio:le ville”*, Touring Editore, Milano, 2002

architettura e scultore dilettante, fu ambasciatore della serenissima in Francia e poi a Costantinopoli; una volta salito ai vertici della gerarchia politica veneziana, fece ottenere a Palladio, nella seconda metà del Cinquecento, la commissione per la chiesa del Redentore⁷⁰ ed esercitò pressioni, anche se senza successo, affinché venisse accolto il progetto dello stesso Palladio per il Palazzo Ducale. Il contributo, evidentemente non gradito, dei due committenti nella realizzazione di Villa Maser, provocò la lamentela del Palladio, che infatti commenta su *“I Quattro Libri dell’Architettura”*: *“spesse volte fa bisogno all’Architetto accomodarsi più alla volontà di coloro, che spendono, che a quello, che si dovrebbe osservare”*⁷¹. All’interferenza dei committenti, oltre che al vincolo delle strutture preesistenti ed all’intervento pittorico del Veronese, si può imputare dunque il fatto che la Villa si discosti per diversi punti di vista dalle tradizionali ville palladiane e si possono inoltre così giustificare le ambiguità tra decorazione ed architettura.



Con Villa Barbaro a Maser, Palladio dà un esempio della sua straordinaria capacità di adattare le sue idee agli “accidenti” di un sito predeterminato, riuscendo a realizzare un complesso in cui l’edificio padronale, i portici e le barchesse risultano integrati in un’unità architettonica armonicamente compatta.

La posizione della Villa risulta essere senza eguali nella produzione del Palladio: il complesso, *“non sorge isolato sul terreno circostante, sia*

Immagine 9_ Villa Barbaro⁷²

⁷⁰ Basilica del Santissimo Redentore: progettata dal Palladio a Venezia nel 1577, sull’isola della Giudecca.

⁷¹ Pag. 3, libro II di A. Palladio, *“I Quattro Libri dell’architettura”*, Hoepli, Milano, 1945

⁷² Registro delle immagini

esso in piano o in posizione elevata, come tutte le altre ville progettate dal Palladio”⁷³, bensì si trova addossato ad un declivio, sulle pendici dei colli asolani, in posizione leggermente rialzata e domina la pianura che vi si trova di fronte e che ancora oggi costituisce gran parte del fondo agricolo dei proprietari della Villa.

I caratteri atipici di Villa Barbaro, rispetto al resto delle ville palladiane, sono influenzati dalla posizione della stessa fabbrica e dal fatto che si sia voluto incorporare il rinnovato complesso nella vecchia casa dominicale di precedente costruzione, di cui, nel corso di recenti lavori, sono emersi diversi particolari: *“finestre murate, tracce di vecchi soffitti a cassettoni sopra le volte, travature del tetto delle barchesse che indicano come queste fossero inizialmente isolate.”*⁷⁴. Il rapporto con il territorio, nel caso di Villa Barbaro, risulta quindi essere particolarmente significativo, il complesso è infatti inserito nella campagna, esso sorge al centro di una tenuta di circa 230 ettari e la Villa si apre verso l’ambiente esterno, anche dal punto di vista fisico: il corpo centrale della fabbrica, fiancheggiato da due lunghi portici destinati originariamente al ricovero degli strumenti e al deposito degli attrezzi agricoli, sporge notevolmente rispetto alle barchesse, e regola la simmetria dell’intero edificio, prendendo luce su tre lati. L’atipicità della forma della residenza padronale, che si differenzia dalla tradizionale compattezza del blocco dominicale tipico delle ville palladiane, viene confermata dallo stesso Palladio, che, in riferimento al corpo centrale commenta: *“Quella parte della fabbrica, che esce alquanto in fuori [...]”*⁷⁵. Tale blocco, sviluppato su due piani, ha inoltre un fronte che misura circa sedici metri, equivalenti ad un terzo della sua profondità: corrispondente al susseguirsi della sala a Crociera e della sala dell’Olimpo. Quest’ultima si apre a monte sul “giardino segreto”.

⁷³ M. Azzi Visentini, “Le Ville in Italia. Quattrocento e Cinquecento”, Milano, Electa, 1995

⁷⁴ D. Battilotti, “le Ville di Palladio”, Milano, Electa, 1990

⁷⁵ A. Palladio, “I Quattro Libri dell’Architettura”, Venezia, 1570 (tratto dall’edizione pubblicata da Il Polifilo, Milano, 1980, pag.151)



Foto 10_Facciata principale di Villa Barbaro⁷⁶

La facciata, inoltre, preceduta da alcuni gradini, si presenta priva di loggia ed in essa si riscontrano interessanti analogie con il Tempio di Portuno: tempio romano di epoca repubblicana situato a Roma, nell'attuale piazza della Bocca della Verità. Sulla facciata dell'avancorpo di Villa Barbaro sono presenti quattro semicolonne ioniche, le quali reggono la trabeazione; su quest'ultima è leggibile l'epigrafe dedicatoria "DAN•BARBARUS•PAT•AQUIL – ET•MARCUS•ANT•FR•FRANC•E" ed essa è sormontata da un timpano carico di decorazioni in stucco. La trabeazione, inoltre, è interrotta in corrispondenza del balcone del piano nobile da un foro ad arco: le finestre del piano terra sono sormontate da frontoncini curvilinei, quelle del piano nobile da frontoncini triangolari.

In nessuna delle altre ville palladiane l'architetto realizza uno schema planimetrico in cui i bracci laterali di una sala a crociera si aprono direttamente sui fianchi dell'edificio, ossia, in questo, caso sulle barchesse laterali, *"sempre sviluppate su due piani, con anteposto un portico ad archi a tutto sesto, ai cui estremi stanno le colombaie, arricchite in età contemporanea, da meridiane"*⁷⁷. La meridiana ad ovest segna l'ora e l'inizio delle stagioni, quella ad est è un calendario zodiacale e indica mensilmente la data d'ingresso del Sole nel corrispondente segno dello Zodiaco. Solitamente, nelle ville

⁷⁶ Registro delle immagini

⁷⁷ M. Pretelli, "Ville Venete. Restauro e valorizzazione nel secondo decennio del XXI secolo", in "Ville lucchesi d'Italia, del mondo. Conoscenza e cura delle dimore di campagna e dei loro giardini", Pacini Fazzi, Lucca, 2016

del Palladio, ai lati delle sale crociformi si aveva accesso ad altri ambienti, ricavati all'interno della fabbrica, come, ad esempio, in Villa Pisani⁷⁸, a Bagnolo e in Villa Foscari⁷⁹, detta La Malcontenta, entrambe opere palladiane.

I porticati ed i due corpi di fabbrica alle estremità del complesso, che inglobano le torri colombaie, risultano inoltre imponenti, dando luogo ad un'ennesima unicità di Villa Barbaro rispetto alle altre ville del Palladio: *"[...]sono ornati in basso con nicchie popolate da statue e in alto da orologi solari incorniciati da frontone e delimitati da volute, e competono in eleganza e in scala con il blocco padronale, del quale ricalcano le dimensioni e scardinano la gerarchia tra le varie parti del complesso che è un elemento fondamentale della villa del Palladio."*⁸⁰

Per quanto riguarda il piano inferiore, a causa dell'andamento inclinato del terreno, quest'ultimo è in realtà un seminterrato, collegato al piano nobile da una scala di servizio.

I materiali costitutivi utilizzati dal Palladio sono materiali particolarmente semplici, legati all'esigenza di economicità da parte dei committenti: il complesso è stato realizzato con una tipica muratura a sacco, usata largamente per la costruzione di edifici storici e caratterizzata da due paramenti esterni in mattoni grezzi, rivestiti da un intonaco a stucco. Il nome di questa tecnica deriva dal fatto che i due muri costituiscono una sorta di "sacco" nel quale viene versato il riempimento. I mattoni infatti svolgono la funzione di cassero di contenimento e finitura superficiale e tra essi viene introdotta una miscela di pietrisco e avanzi di lavorazione, legati solitamente da malta di cemento o di calce. I muri esterni della Villa hanno uno spessore pari a quasi un metro (mediamente 0,80cm) e le partizioni interne misurano mediamente 0,65cm.

Per il corpo padronale, che predomina sui porticati laterali ed ospita la famiglia dei proprietari, sono stati impiegati gli ordini più nobili, come confermano le quattro semicolonne ioniche; mentre per le barchesse, destinate a funzioni secondarie e di servizio, è stato utilizzato il rustico ad arcate. Risulta inoltre particolarmente contenuto anche l'utilizzo della pietra: essa è stata infatti impiegata solo per la realizzazione di elementi decorativi, come capitelli e cornici. Gli interni sono invece caratterizzati da

⁷⁸ Progettata da Andrea Palladio nel 1541

⁷⁹ Progettata da Andrea Palladio nel 1559

⁸⁰ M. Azzi Visentini, "Le Ville in Italia. Quattrocento e Cinquecento", Milano, Electa, 1995

decorazioni ad affresco e da ornamenti di stucco; le porte e gli infissi delle aperture interne ed esterne sono state realizzate in legno, mentre la copertura è in laterocemento.

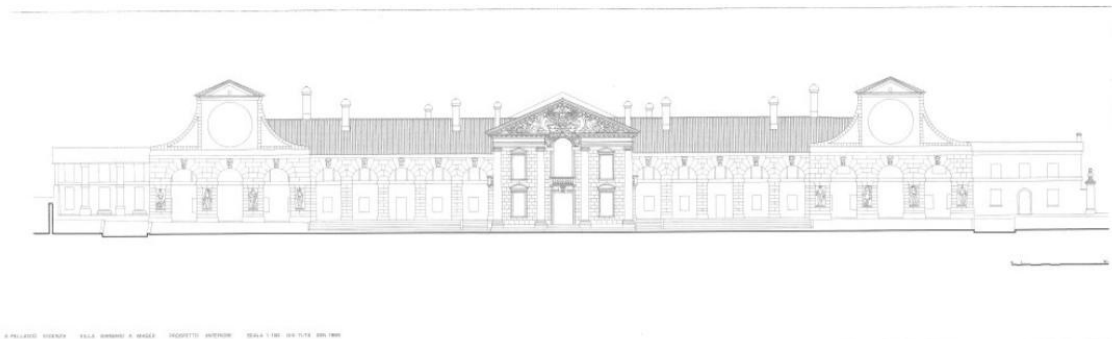


Immagine 11_ Disegno di Andrei e Ewa Soltan, 1968⁸¹

L'immagine soprastante mostra il prospetto anteriore della Villa: si tratta della scansione di uno dei disegni di Andrei e Ewa Soltan, realizzati tra il 1968 e il 1981, per commissione del *Centro Internazionale Studi di Architettura Andrea Palladio*⁸², che ha sede a Vicenza. È stato possibile reperire questo ed alcuni altri disegni della Villa, avuti in prestito grazie all'attuale proprietaria della Villa, col fine di ottenere le informazioni necessarie riguardo alle geometrie della Villa: essenziali per uno studio ed un'analisi energetica utile e perlopiù realistica del complesso stesso. I rilievi sono reperibili anche online al sito www.palladiomuseum.org⁸³, ma sono soggetti a copyright.

Il prospetto qui riportato è stato realizzato a matita su un sottolucido nell'Ottobre del 1968, per mano dei disegnatori Andrei e Ewa Pereswet Soltan; la scala, come anche quella degli altri rilievi che è stato possibile consultare, è di 1:100. Da questo prospetto è stato possibile misurare l'altezza del primo piano, pari a 4m e del piano nobile, il quale misura cinque metri e mezzo. Gli altri disegni sono consultabili in appendice.

Il “giardino segreto” sopracitato, sul quale si affaccia la sala dell'Olimpo, si trova sul retro della Villa, all'altezza appunto del piano nobile ed in esso venne realizzato un Ninfeo semicircolare, il quale si affaccia su una peschiera emiciclica. Per quanto

⁸¹ Registro delle immagini

⁸² CISA: istituto di ricerca sulla storia dell'architettura antica e moderna, fondato nel 1958

⁸³ Al CISA dal 5 Ottobre 2012 è aperto il Palladio Museum, un laboratorio di ricerca aperto al pubblico

riguarda le rifiniture, le sculture e gli stucchi, della Villa e del parco, esse furono affidate ad Alessandro Vittoria(1525-1608), allievo di Sansovino. Il quale collaborò con Andrea Palladio anche nella decorazione di Palazzo Thiene, a Vicenza, e di Villa Pisani, a Montagnana. Nonostante ciò si suppone che Daniele Barbaro intervenne nella costruzione della Villa dimostrando una discreta abilità e scavando sulle pareti del colle, il suddetto Ninfeo, adornato da diverse statue che rappresentano le divinità dell'Olimpo; ciascuna identificata con un epigramma. Esse appaiono collocate dentro a delle nicchie che furono scavate nella parete curva, inquadrata da due telamoni che sorreggono la base del frontone.



Immagine 12_Ninfeo di Villa Barbaro⁸⁴

Per il Ninfeo venne inoltre studiato un complesso e sofisticato sistema idraulico: *exploit* tecnologico che richiama l'idraulica romana antica e che permetteva che l'acqua venisse trasportata negli ambienti di servizio e che raggiungesse giardini e brolo. Oggi questo elemento non è più esistente nella Villa palladiana, ma ne sono state trovate alcune tracce, tra cui tubazioni e vasche di accumulo, purtroppo ormai compromesse, anche a causa dei lavori di consolidamento delle fondazioni, risalenti all'inizio del Novecento.

Villa Barbaro è molto conosciuta anche per i cicli di affreschi realizzati da Paolo Veronese. Infatti, come afferma James Sloss Ackerman⁸⁵ : “[...] *fra le Ville Cinquecentesche d'Italia è quella che possiede la decorazione più ricca e più bella.*”⁸⁶.

⁸⁴ Registro delle immagini

⁸⁵ Storico d'architettura statunitense (San Francisco 1919 - Cambridge 2016)

⁸⁶ J.S. Ackerman, “Palladio”, Giulio Einaudi Editore s.p.a., Torino, 1972

Gli affreschi presenti all'interno della Villa creano uno stretto rapporto tra lo spazio reale e quello illusorio: Veronese interpretò gli spazi architettonici realizzati da Andrea Palladio arricchendoli con finte architetture e numerosi personaggi reali ed allegorici. La scelta tematica, plausibilmente suggerita dai committenti, vuole celebrare la famiglia Barbaro, attraverso allegorie e scene mitologiche che rimandassero all'armonia celeste. Gli affreschi del Veronese trasfigurano dunque gli interni dell'edificio, con giochi di luci e colori che richiamano la natura ed il paesaggio: vengono creati nuovi spazi illusori, con finti loggioni, colonnati, porte ,ecc..

Si pensa che questa particolarità non venne apprezzata dal Palladio, poiché, quando nel 1570 pubblicò a Venezia *"i Quattro Libri dell'Architettura"*, non citò lo stesso Paolo Veronese nella didascalia della tavola dedicata a Villa Barbaro.

La Sala dell'Olimpo fu probabilmente la prima ad essere affrescata; come suggerisce il nome in questa sala sono rappresentate numerose divinità olimpiche, tra cui Afrodite, Ermes, Zeus, Ares, Artemide e Apollo. Vi sono però raffigurati anche personaggi reali: sui finti loggioni appaiono infatti la moglie di Marcantonio Barbaro, accompagnata dalla nutrice e da Alvise, suo figlio; sull'altro lato appaiono i due figli maggiori, Daniele e Almorò.

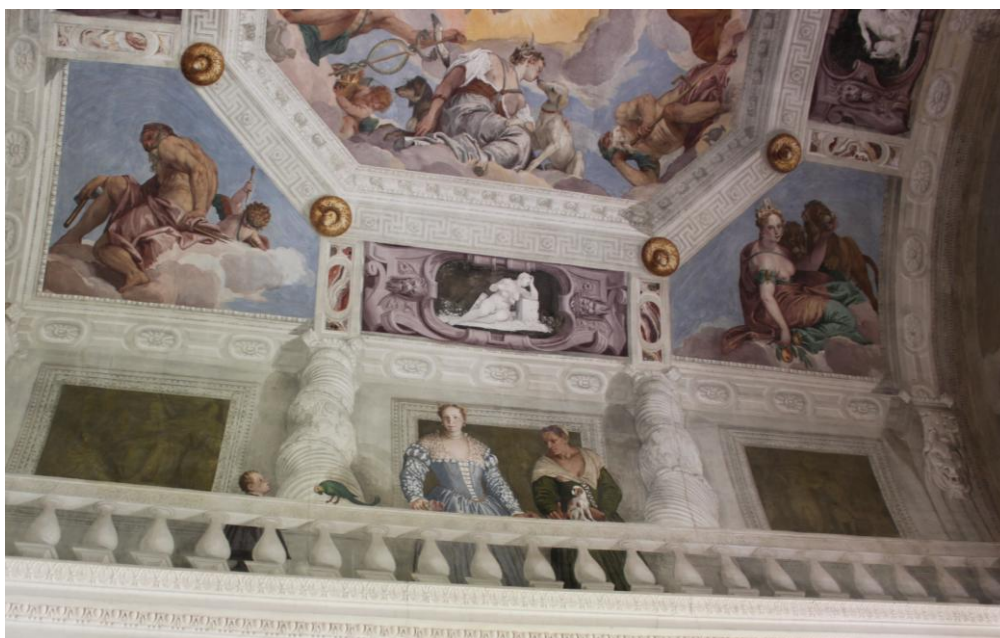


Immagine 13_Sala dell'Olimpo: Giustiniana Giustiniani sulla loggia con la nutrice⁸⁷

⁸⁷ Registro delle immagini

Sulle lunette vi sono le raffigurazioni delle stagioni, tra le quali spicca su tutte l'Estate. Inoltre risulta curiosa la raffigurazione della Villa stessa ed il significato che essa potrebbe avere: “[...] appare adagiata tra le colline del paesaggio posto alla destra del finestrone, la quale può essere interpretata, oltre che come omaggio ai committenti, come ironica rivendicazione da parte del Veronese del ruolo avuto nella sua definizione.”⁸⁸



Questa sala, inoltre, raccorda la sala a crociera con il giardino posteriore, o “giardino segreto”, ed il Ninfeo, dipartendo la sala del Cane e la sala della Lucerna ai lati.

Il fulcro delle stanze di rappresentanza è la Sala a Crociera, anch’essa situata al piano nobile, tramite la quale si

Immagine 14_Sala a Crociera⁸⁹

può accedere alle cinque sale aperte al pubblico, alla Sala dell’Olimpo, al Tribunale d’amore ed la Sala di Bacco. In ognuna di queste sale sono presenti affreschi che rafforzano l’effetto *trompe -l’oeil*, vengono infatti rappresentate colonne; bassorilievi; personaggi reali e non; ampi balconi; paesaggi; oggetti come spade, lance; ecc.

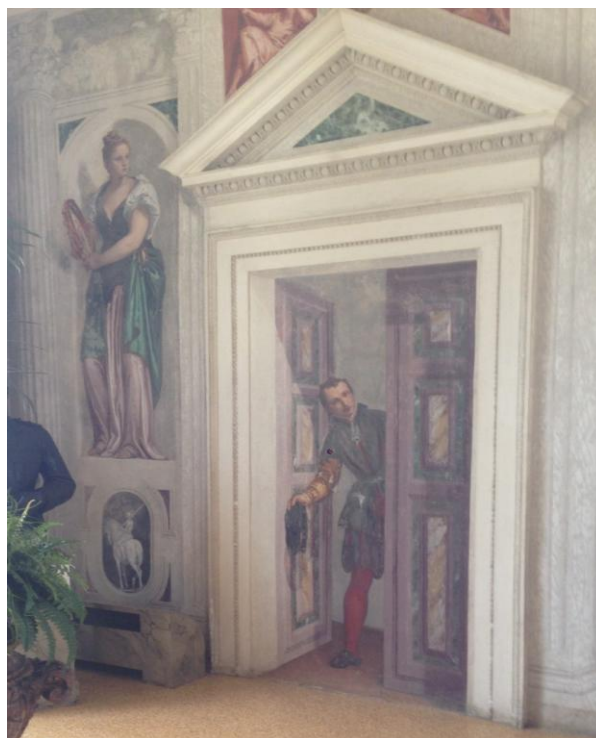
In particolare, la Croce Centrale, è decorata tramite la rappresentazione di paesaggi e di figure di suonatrici; queste ultime affiancano quattro porte: due vere e due dipinte, dalle quali si affacciano un paggio ed una bambina.

⁸⁸ D. Battilotti, “le Ville di Palladio”, Milano, Electa, 1990

⁸⁹ Registro delle immagini



Immagine 15_Porta finta con paggio e bambina⁹⁰



In origine anche la volta, ad oggi completamente bianca, era affrescata: vi apparivano tralci di vite e fogliame, ma gli affreschi vennero danneggiati nell'Ottocento, quando i Giacomelli, allora proprietari di Villa Barbaro, decisero di farli coprire per far prendere il loro posto a diversi ritratti di famiglia. Durante questa operazione, inoltre, nel tentativo di far aderire meglio al muro i dipinti di tali ritratti, vennero graffiati parti dei paesaggi affrescati.

La Villa infatti, attualmente di proprietà di Donna Diamante Luling Buschetti Volpi, nel 1838 apparteneva a Gian Battista Colferai, le cui eredi la lasciarono decadere. Ragion per cui dagli anni Trenta del Novecento, la famiglia⁹¹ dell'attuale proprietaria del bene, fece sì che gli affreschi e gli stucchi della Villa fossero oggetto di numerose campagne di restauro. Nel 1850 Villa Barbaro venne acquistata e fatta restaurare dall'industriale friulano Sante Giacomelli, che ne fu il proprietario fino al 1934: quando Giuseppe

⁹⁰ Registro delle immagini

⁹¹ Nel 1934 la Villa fu acquisita da Giuseppe Volpi di Misurata, il quale l'affidò alle cure della figlia Marina, madre dell'attuale proprietaria: Donna Diamante Luling Buschetti Volpi.

Volpi, conte di Misurata (1877-1947), imprenditore e politico italiano, acquistò il fabbricato, che ancora oggi appartiene ad una sua erede.

L'attività di manutenzione che è stata svolta negli ultimi vent'anni per garantire la conservazione del complesso palladiano, a Maser, include molteplici opere, delle quali, nella pubblicazione di "Ville lucchesi d'Italia, del mondo. Conoscenza e cura delle dimore di campagna e dei loro giardini", a cura di Maria Adriana Giusti, vengono riportate le principali al capitolo dedicato alle Ville venete: "Restauro e valorizzazione nel secondo decennio del XXI secolo"⁹², a cura di Marco Pretelli.

Tali opere principali furono:

- *Manutenzione straordinaria delle coperture, negli anni Novanta del Novecento;*
- *Adeguamento degli impianti elettrici, poco dopo il 2000*⁹³;
- *Restauro della copertura, delle superfici intonacate e degli apparati decorativi dell'intero tempio.*

Per concludere, è interessante notare come molti tratti che ritroviamo in Villa Barbaro rimandino alle grandi residenze romane: il ninfeo semicircolare, scavato sul retro della Villa, al livello del piano nobile, ricorda la fontana di Valle Giulia, conclusa nel 1554 ed i giardini di Villa d'Este, a Tivoli, che Pirro Ligorio(1513-1583), architetto, pittore e antiquario italiano, realizzò per il cardinale Ippolito d'Este(1479-1520), al quale Barbaro dedicò tra l'altro il trattato di Vitruvio⁹⁴: "*De architettura*"

Queste somiglianze "*sono il risultato della visita di Palladio a Roma, effettuata con Daniele Barbaro nel 1554*"⁹⁵. Ciò che però distingue Villa Barbaro dalle tipiche ville romane del Cinquecento, è che Villa Maser non rappresenta un ritiro suburbano, adatto esclusivamente al riposo: essa è la principale dimora dei suoi proprietari. Daniele e Marcantonio Barbaro, infatti, "*non vi abitavano solo per evadere dall'afa e dalle*

⁹² Pag. 161 di M. A. Giusti, "Ville lucchesi d'Italia, del mondo. Conoscenza e cura delle dimore di campagna e dei loro giardini", Pacini Fazzi, Lucca, 2016

⁹³ Cfr. M. Pretelli, "Villa Barbaro. Il rinnovo dell'impiantistica elettrica in un edificio palladiano", in "Recupero e Conservazione", 49, Marzo-Aprile 2003

⁹⁴ M. Vitruvio Pollione, "De architettura", 1486

⁹⁵ G. Beltramini, H. Burns, "Palladio", Marsilio Editori, Venezia, 2008

gondole di Venezia, ma anche per assicurarsi che fossero buoni i raccolti, giacché da essi dipendeva il lusso di cui godevano.”⁹⁶.

⁹⁶ J. S. Ackerman, “Palladio”, Giulio Einaudi Editore s.p.a., Torino, 1972

Capitolo III

Metodologia

1. Conoscenza del fabbricato

La conoscenza della Villa rappresenta ovviamente un dato essenziale per l'analisi e lo studio della stessa. È importante sia ciò che concerne gli aspetti della geometria della villa, sia gli eventuali cambiamenti architettonici e modifiche sostanziali con effetti più o meno influenti sul microclima interno dell'edificio storico in esame.

Per quanto riguarda il recente restauro e i cambiamenti avvenuti nel corso degli anni all'interno della Villa, essi non risultano essere rilevanti in maniera tale da poter incidere o modificare il microclima indoor degli ambienti studiati.

Per la conoscenza delle geometrie della villa; l'identificazione dei pacchetti costruttivi; l'analisi e il rilevamento dei parametri climatici, sono state fatte delle analisi e delle ricerche di diversa entità, principalmente si è trattato di: ricerche d'archivio e monitoraggio diretto tramite il posizionamento di tre sonde. Il tutto ha portato alla realizzazione di un modello virtuale di Villa Barbaro, in grado di mostrare il comportamento fisico del microclima interno della villa tramite simulazioni termodinamiche e fluidodinamiche, permettendo quindi la possibile elaborazione di ipotesi al fine di migliorare il comfort di chi vive o visita temporaneamente la Villa e garantendo anche una buona conservazione del manufatto stesso e degli affreschi e delle opere che vi sono custodite.

1.1. Ricerche d'archivio

Per una conoscenza preliminare della Villa sono state fatte ricerche in un primo momento *online*, attraverso le quali è stato possibile ottenere le informazioni base sull'oggetto di studio, si è trattato principalmente di informazioni storiche; in seguito si è proceduto alla ricerca bibliografica su volumi nei quali viene trattata e citata Villa Barbaro, a partire da, "*I Quattro Libri dell'architettura*": trattato composto da quattro tomi che venne pubblicato nel 1570 dall'architetto Andrea Palladio.

Come documenti cartacei è stato invece possibile reperire alcuni grafici della Villa, ottenuti in prestito grazie all'attuale proprietaria della Villa, Donna Diamante Luling

Buschetti Volpi. Questi grafici sono stati realizzati tra il 1968 e il 1981, per commissione del *Centro Internazionale Studi di Architettura Andrea Palladio*⁹⁷, che ha sede a Vicenza.

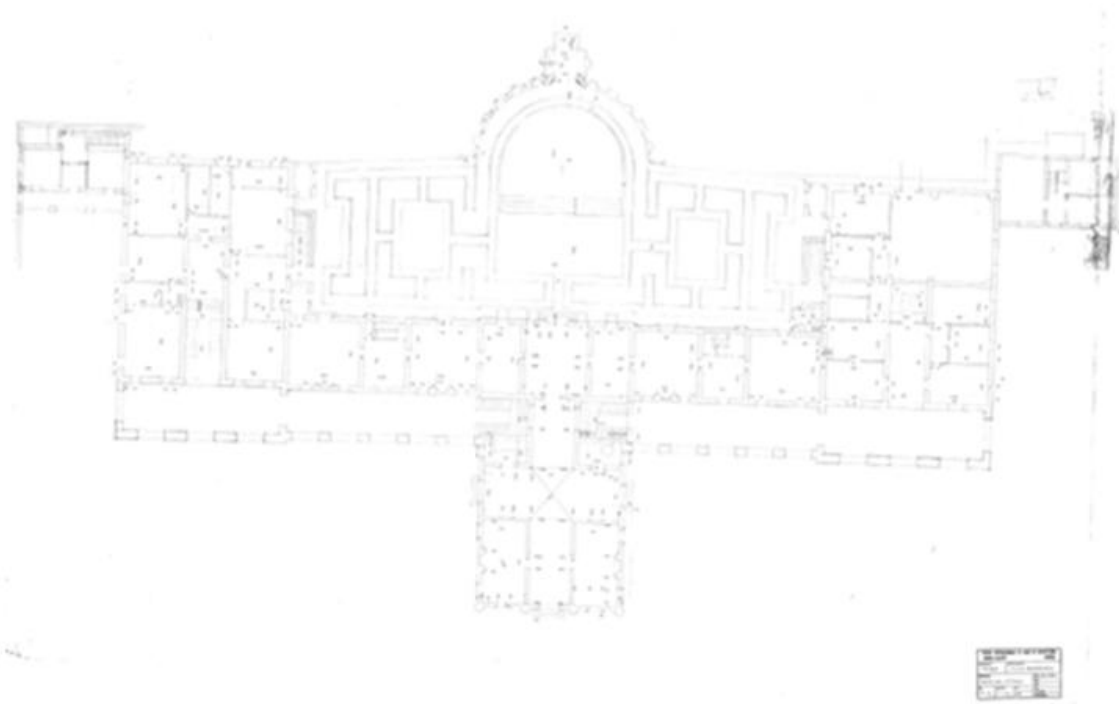


Immagine 16_Scansione rilievo piano elevato Villa Barbaro⁹⁸

L'immagine soprastante mostra uno dei rilievi di Villa Barbaro, base per ottenere le informazioni necessarie riguardo alle geometrie della Villa: essenziali per uno studio ed un'analisi energetica utile e perlopiù realistica del complesso stesso. Gli altri grafici utilizzati sono consultabili in appendice. Questa scansione rappresenta il piano nobile, fulcro della ricerca; il disegno è stato realizzato a matita su un sottolucido nell'Ottobre del 1968, per mano dei disegnatori Andrei e Ewa Pereswet Soltan. Le dimensioni complessive del documento sono: 685 x 1095 mm (175 dpi) e la scala, come anche quella degli altri rilievi che è stato possibile consultare, è di 1:100. I rilievi sono reperibili anche online al sito www.palladiomuseum.org⁹⁹, ma sono soggetti a copyright.

⁹⁷ CISA: istituto di ricerca sulla storia dell'architettura antica e moderna, fondato nel 1958

⁹⁸ *Disegno di Andrei e Ewa Pereswet Soltan*

⁹⁹ Al CISA dal 5 Ottobre 2012 è aperto il Palladio Museum, un laboratorio di ricerca aperto al pubblico

1.2. Monitoraggio in sito

Oltre alle fasi già descritte, è stato chiaramente fondamentale il monitoraggio interno, che, come anticipato, si è svolto unicamente nel piano nobile della Villa, posizionando tre sonde ed un *Bridge* in alcune delle sale aperte ai visitatori durante determinati periodi dell'anno: dal mese di Aprile ad Ottobre la Villa è aperta da martedì a sabato dalle 10.00 alle 18.00 e domenica e festivi dalle 11.00 alle 18.00; da Novembre a Marzo la Villa è aperta sabato, domenica e festivi dalle ore 11.00 alle ore 17.00; dal 12 Dicembre al 10 Febbraio la Villa è chiusa, con aperture straordinarie nei giorni del 23 Dicembre, 3 Gennaio e 7 Gennaio.

I dati ottenuti dal monitoraggio hanno permesso di effettuare le analisi necessarie per constatare le condizioni attuali di comfort all'interno della Villa e, dunque, di definire quali siano gli interventi utili e realizzabili per migliorare quest'ultimo.

Con i dati acquisiti dalle sonde e le informazioni raccolte dalle ricerche d'archivio e dalle ricerche dirette si è potuto calibrare il modello virtuale realizzato con IES.VE, inserendo i diversi dati all'interno programma, ed eseguire alcune simulazioni che mostrano quali siano gli andamenti del microclima interno nel piano nobile di Villa Barbaro.

2. Modello virtuale (Virtual Environment Building)

Grazie ai documenti archivistici, con i relativi dati riguardanti le geometrie dell'edificio, è stato possibile disegnare, in un primo momento, la pianta della Villa in 2D. Questa prima fase è stata eseguita utilizzando il programma AutoCAD di *Autodesk*, tramite il quale sono state ricalcate le scansioni dei rilievi commissionati dal CISA nel 1968.

Successivamente è stato possibile arrivare alla realizzazione di un modello 3D della Villa, il quale è stato disegnato tramite l'utilizzo di *SketchUP*: programma che permette di modellare i volumi con discreta semplicità.

Infine, grazie ad un *plug-in* è stata possibile l'importazione del modello da SketchUP a IES.VE, software di simulazione dinamica, per la realizzazione di un modello virtuale. IES.VE, che fa parte dei cosiddetti programmi BIM¹⁰⁰, ha permesso di ottenere e sviluppare una serie di informazioni utili a definire: velocità dei fluidi, temperatura e pressione all'interno degli ambienti studiati della Villa.

Attraverso il sistema di simulazione sarà inoltre possibile eseguire un'elaborazione dei dati ottenuti al fine di ricavare anche parametri di comfort.

Il funzionamento di IES.VE ed i risultati ottenuti grazie alle analisi effettuate sono stati spiegati nei capitoli successivi del presente elaborato, in particolare al capitolo V, dedicato alla modellazione.

¹⁰⁰ Building Information Modelling: metodo per l'ottimizzazione della pianificazione, realizzazione e gestione di costruzioni tramite aiuto di un software

Capitolo IV

Monitoraggio

1. Il Monitoraggio: pratica preventiva e strumento di indagine

L'uomo ha sempre sentito la necessità di tenere viva la propria memoria e poterla tramandare a chi verrà anche attraverso arte, manufatti, dipinti, ecc.. Oggi il desiderio di salvaguardare il patrimonio storico e culturale è diventato sempre più importante e, da un certo punto di vista, sempre più facile: grazie all'avvento delle nuove tecnologie. Oltre agli interventi di restauro, viene infatti data sempre più rilevanza oggi, ed attenzione, alle pratiche che mirano alla manutenzione ed alla prevenzione del patrimonio storico. Nonostante ciò, anche se può apparire contraddittorio, purtroppo oggi la nuova architettura non è pensata per sopravvivere a chi la costruisce, contrariamente a quanto sostiene John Ruskin (1819-1900), intellettuale dell'800, che concepiva il restauro come una distruzione e sosteneva che andasse sostituito con una manutenzione programmata: *“prendetevi cura dei vostri monumenti e non avrete alcun bisogno di restaurarli”*¹⁰¹.

In linea con quest'ottica, che punta alla conservazione per le generazioni future, gli odierni sistemi di monitoraggio microclimatico rappresentano un sistema efficace per il controllo, la manutenzione e, soprattutto, la possibilità di prevenzione sugli edifici, storici e non. Il monitoraggio microclimatico, per la garanzia di una conservazione ideale, sarebbe quindi uno strumento utile ed efficace. Purtroppo, probabilmente anche a causa dei fondi limitati a disposizione del settore della conservazione, sono ancora pochi i prodotti in commercio che garantiscano diverse caratteristiche basilari per una buona campagna di misurazione, anche a distanza.

Perché verifica e controllo in continuo delle condizioni microclimatiche indoor siano possibili in maniera pratica ed al contempo efficiente, sarebbe indispensabile infatti: una strumentazione che richieda una manutenzione ridotta; una buona durata delle batterie delle sonde utilizzate e del *Bridge*; la possibilità di accedere ad una piattaforma online per la gestione da remoto, quindi la disponibilità dei dati in qualsiasi momento tramite PC, tablet, smartphone, con *login* protetto; sarebbe inoltre utile la possibilità di stabilire dei *range* massimi e minimi per ogni variabile, con un sistema che permetta a chi lo gestisce di impostare soglie di allarme con relativa notifica immediata nel caso di

¹⁰¹ J. Ruskin, *Le sette lampade dell'architettura* Jaca Book, Milano 1982

superamento dei valori critici, possibilmente tramite e-mail, o sms direttamente sul cellulare.

Il monitoraggio risulta dunque essere uno strumento utile per la prevenzione ed efficace per l'indagine delle condizioni microclimatiche interne o esterne, permettendo di restituire informazioni interessanti riguardo all'andamento microclimatico del luogo in esame, il che rende possibile e giustifica a sua volta la determinazione di scelte e cambiamenti migliorativi.

1.1. Campagna di misurazione

Le sonde sono state posizionate nella villa il 17/06/2016, ma sono state attivate correttamente a partire dal 21/06/2016 ed il rilevamento dei dati è stato interrotto in data 29/12/2016, per una durata totale del monitoraggio del microclima interno di sei mesi e dieci giorni circa. Tali sonde sono tre e sono state collocate nella Stanza del Tribunale d'amore, nella Stanza del Cane e nella Stanza a Crociera:



Immagine 17;18_sonda nella Stanza del Tribunale d'Amore¹⁰²

¹⁰² Registro delle immagini

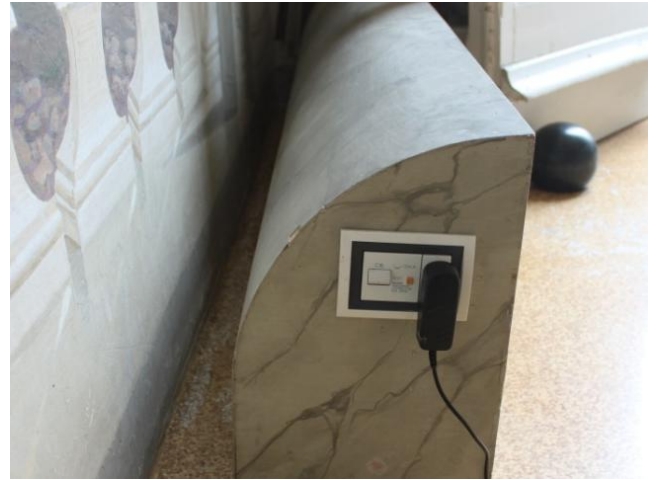


Immagine 19;20_Sonda nella Stanza a Crociera¹⁰³



Immagine 21;22_Sonda nella Stanza del Cane¹⁰⁴

¹⁰³ Registro delle immagini

¹⁰⁴ Ibidem

Tali sonde permettono di misurare, visualizzare ed analizzare parametri ambientali di vario tipo, tra cui: temperatura ambientale, pressione, umidità relativa, intensità della luce e qualità dell'aria.

I dati raccolti da queste apparecchiature vengono trasmesse al Bridge che, come spiegato nel primo capitolo, acquisisce i dati di ogni nodo ed è indispensabile per la loro trasmissione alla piattaforma internet, che avviene tramite connessione wireless. Nel caso studio trattato il Bridge è stato posizionato nella Sala a Crociera.



Immagine 23;24_ Beesper Bridge nella Croce Centrale¹⁰⁵

Come è visibile dalle fotografie, la strumentazione non è stata fissata alle murature, ma semplicemente appoggiata su ripiani o appesa ad arredi, in modo tale da non essere né di intralcio né troppo visibile ai visitatori. Il fatto che la strumentazione non sia fissa permette di spostare la stessa in corso d'opera, in caso risulti opportuno.

Lo scaricamento delle batterie del Bridge è avvenuto il 6 Ottobre 2016 e sono state sostituite nella giornata del 10 Novembre 2016. Tutti i dati rilevati dalle sonde hanno

¹⁰⁵ Registro delle immagini

consentito di effettuare, prima la calibrazione del modello ed in seguito alcune simulazioni in merito all'andamento del microclima interno.

1.2. Errori e semplificazioni adottate

La sonda che era stata posizionata in un primo momento nella Stanza del Cane, in data 17/06/2016, ha smesso di trasmettere i dati al Bridge il 22/06/2016, probabilmente perché troppo lontana da questo e quindi incapace di comunicare con esso. Per accertarsi che il problema fosse dovuto a questo e non alla batteria della sonda, si è voluto spostare quest'ultima nella Sala a Crociera, ma per un'incomprensione con i proprietari della Villa essa non è stata più riposizionata nella stanza del cane, ma è rimasta nella Sala a Crociera, dove era già presente un'altra sonda, perciò i dati che avrebbero potuto essere ritenuti rilevati dalla citata sonda sarebbero stati solo quelli registrati nel periodo che va dal 21/06/2016 al 22/06/2016: periodo troppo breve per trarre conclusioni utili, ragion per cui si è deciso di non riportare i risultati relativi a questo ambiente all'interno dell'elaborato.

In seguito allo scaricamento del Bridge ed alla conseguente sostituzione della batteria si pensava che sarebbe stato possibile recuperare il *gap* di rilevamento dei dati, che va dal 6 Ottobre al 10 Novembre, purtroppo invece ciò non è stato possibile.

1.3. Risultati

Vengono presentati e commentati di seguito i risultati derivanti dalla campagna di monitoraggio:

1.3.1. Temperatura e Umidità Relativa

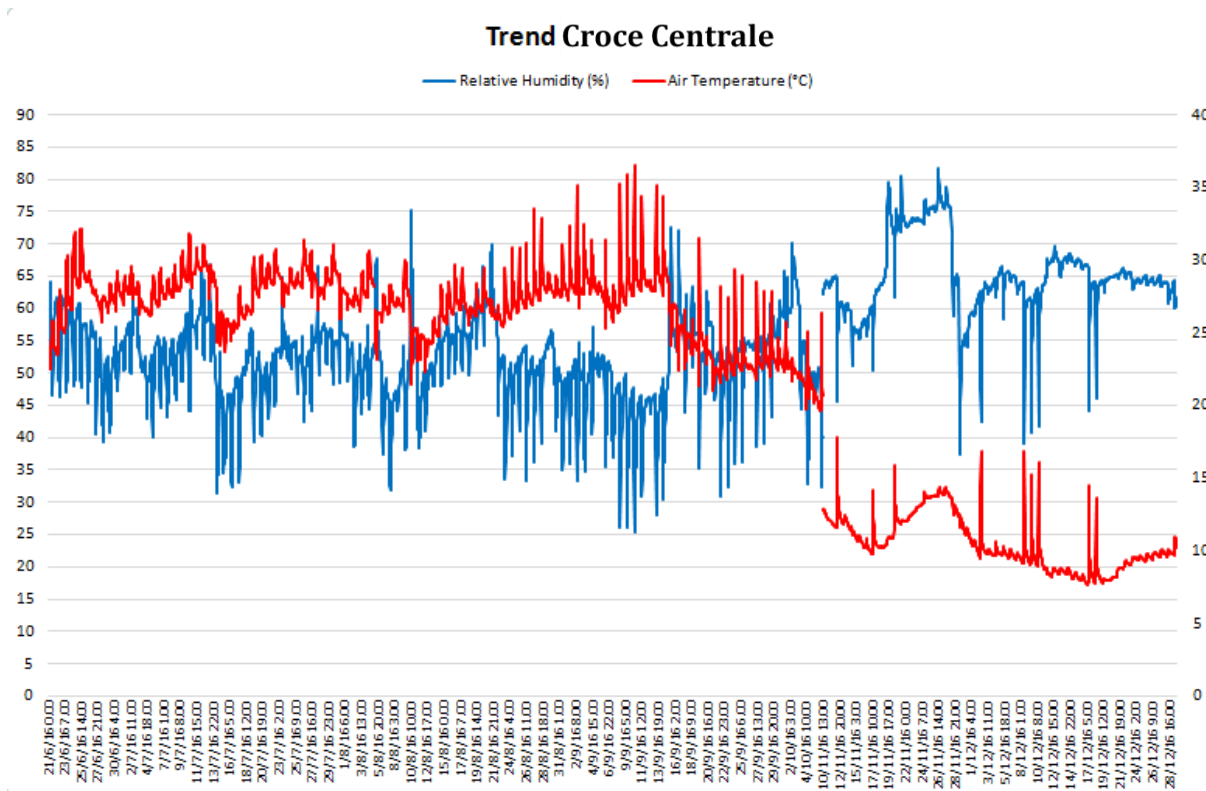


Immagine 25_Grafico trend Croce Centrale¹⁰⁶

Il grafico soprastante presenta l'analisi dei valori di umidità relativa e temperatura dell'aria, registrati dal 21 gennaio 2016 al 29 dicembre 2016, all'interno della sala che prende il nome di "Croce Centrale". Grazie alla presente restituzione dei dati raccolti dalle sonde Henesis è possibile definire i due range attorno ai quali generalmente si aggirano le due variabili studiate: tra il 45 ed il 65% per l'umidità relativa e principalmente tra i 10 e i 30°C per la temperatura dell'aria.

Per quanto riguarda l'umidità relativa, è possibile constatare che durante alcune giornate del periodo autunnale, nel mese di Novembre, sono stati registrati valori che superano il 65%, arrivando a delle percentuali di umidità anche pari all'80%. Durante il periodo

¹⁰⁶ Registro delle immagini

estivo, invece, i dati di umidità relativa diminuiscono notevolmente: in Settembre, ad esempio, si registrano valori minimi tra il 25 ed il 30% e dei valori massimi pari a 40-50%. Il periodo estivo risulta essere particolarmente secco, sarà dunque interessante analizzare se ciò influisce sulle condizioni degli affreschi: si studierà infatti successivamente il rischio microclimatico determinato dalla variabile umidità. La differenza giornaliera di umidità relativa si aggira intorno al 20% durante il periodo estivo, percentuale che viene registrata invece raramente durante i mesi di Novembre e Dicembre, nel corso dei quali gli sbalzi giornalieri sono più lineari e la maggior parte delle volte non arrivano al 5%.

Tra le temperature registrate nel periodo estivo, nello specifico durante il mese di Settembre, si evidenziano dei picchi in cui la temperatura dell'aria raggiunge e supera leggermente i 35°C. Durante il periodo invernale le temperature registrate sono invece molto basse, si aggirano generalmente tra i 10 e i 15°C. Questi dati sono ovviamente dovuti all'assenza di un impianto di riscaldamento e di raffrescamento all'interno della sala. Gli sbalzi termici giornalieri variano dai 3 ai 9°C in estate, con differenze più elevate in Agosto e Settembre, mentre le temperature giornaliere nei mesi di Novembre e Dicembre sono molto lineari, ad esclusione di qualche sporadica giornata in cui si hanno sbalzi di 5-6°C.

In questo ambiente i due parametri si influenzano reciprocamente, la correlazione tra l'umidità relativa e la temperatura dell'aria fa sì che si abbia un andamento lineare inverso: al diminuire della temperatura aumenta l'umidità e viceversa.

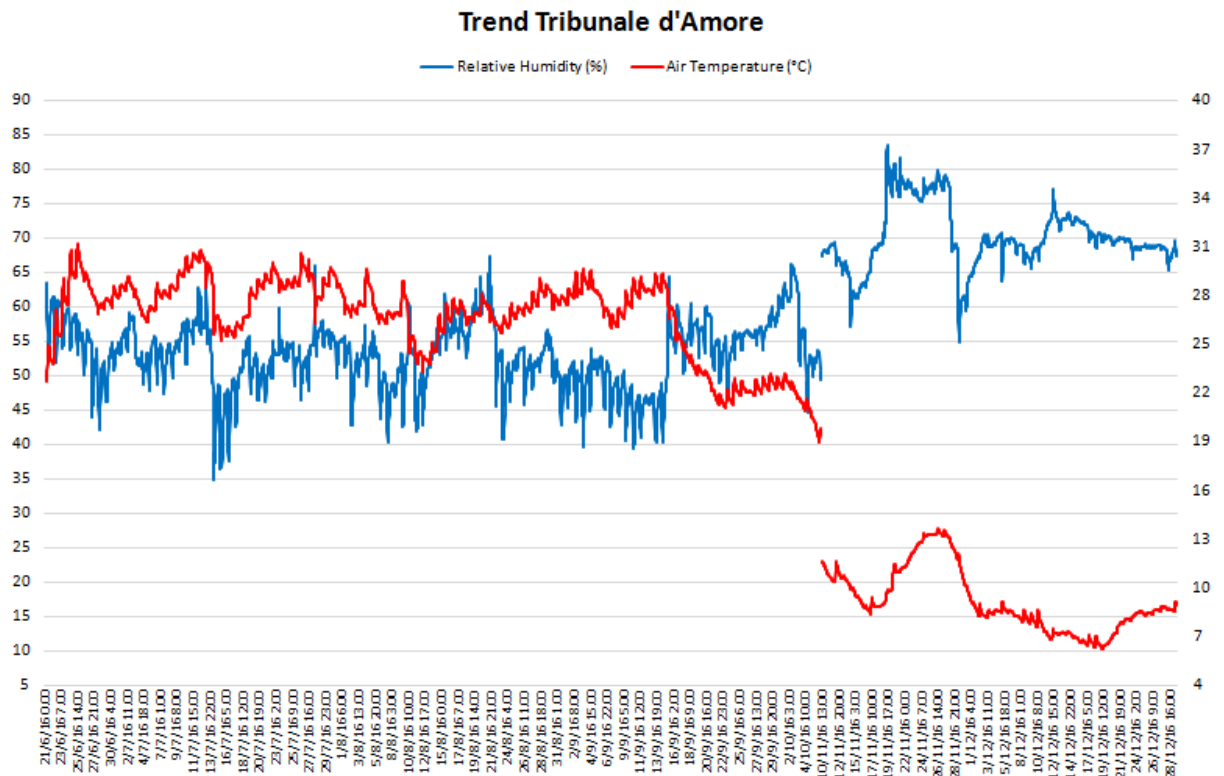


Immagine 26_Grafico trend Tribunale d'Amore¹⁰⁷

Osservando i valori della stanza del “Tribunale d'Amore”, ad una prima analisi, possiamo definire i due range di umidità relativa e temperatura dell'aria registrati durante il 2016, dal 21 Giugno al 29 Dicembre: l'umidità relativa risulta aggirarsi generalmente tra il 40 e il 70%, mentre le temperature risultano mantnersi all'interno di un range che varia tra i 7 e i 30°C.

Passando ad un'analisi più dettagliata, una differenza che è subito possibile constatare tra questa stanza e la Croce centrale è che entrambi i parametri, ossia umidità relativa e temperatura dell'aria, nel Tribunale d'Amore risultano avere valori più stabili: dal grafico si nota come siano di gran lunga inferiori sia gli sbalzi termici giornalieri sia le variazioni di umidità giornaliere nella stanza del Tribunale d'Amore, rispetto alla sala a Crociera precedentemente analizzata. Questo è determinato anche dal fatto che le dimensioni della stanza del Tribunale d'Amore sono molto inferiori rispetto alle dimensioni della Croce Centrale, dove è facile dunque che si abbiano maggiori spostamenti d'aria e variazioni di temperatura e di umidità relativa.

¹⁰⁷ Registro delle immagini

Durante il periodo autunnale, si registrano alcune giornate in cui i valori di umidità relativa arrivano a superare l'80%, mentre durante il periodo estivo i dati di umidità relativa sono notevolmente inferiori: qui infatti è possibile ottenere valori massimi che si aggirano intorno al 55-60%. Per quanto riguarda le differenze giornaliere di umidità relativa, possiamo registrare dei valori massimi pari al 10% circa, in estate, mentre queste differenze giornaliere diminuiscono drasticamente nei mesi di Novembre e Dicembre, durante i quali l'andamento appare più lineare e durante una stessa giornata si hanno differenze massime circa del 5%.

Le temperature registrate, nel periodo estivo raggiungono i 30°C ed in inverno in questo ambiente la temperatura diminuisce in maniera elevata, raggiungendo anche i 7°C. Gli sbalzi termici giornalieri che si possono registrare sono minimi, pari a 2-3°C circa, durante tutto l'anno: l'andamento della temperatura dell'aria giornaliera è infatti molto più lineare rispetto a quelle registrate nella sala della Croce Centrale.

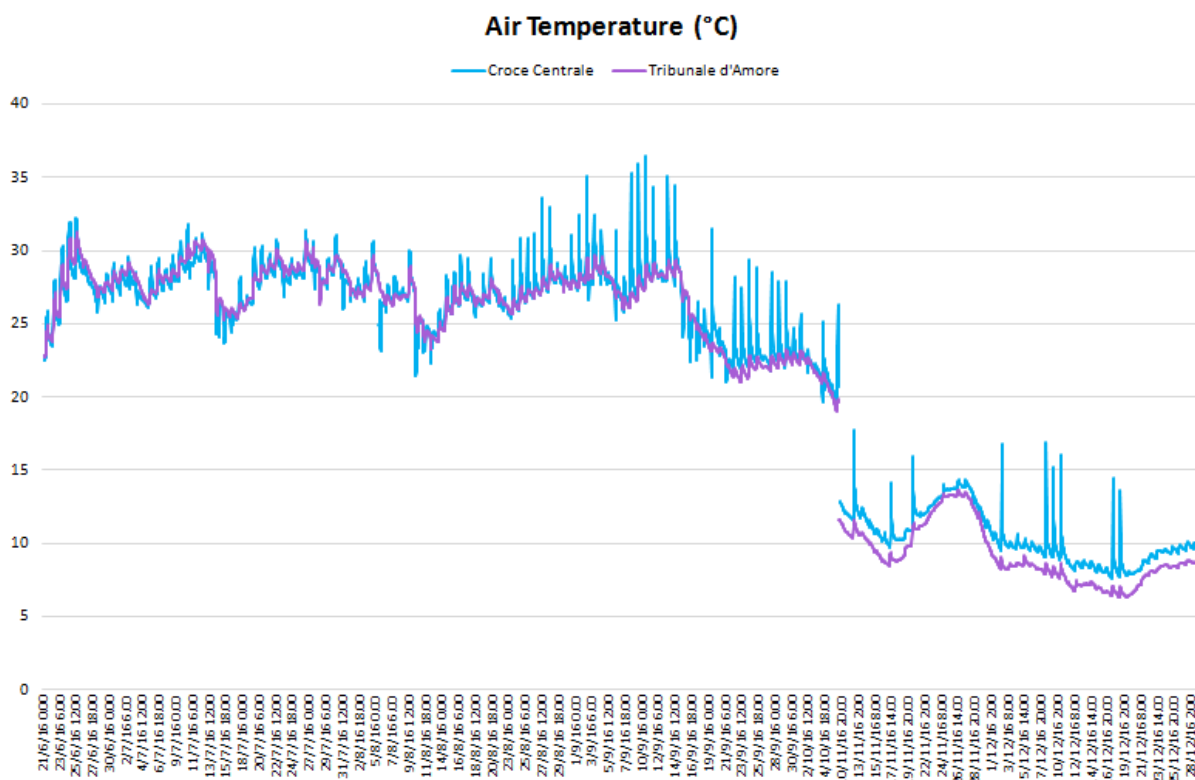


Immagine 27_Confronto della temperatura dell'aria registrata dalle sonde nelle due stanze¹⁰⁸

¹⁰⁸ Registro delle immagini

Il confronto dei trend termici delle due stanze, ottenuti dalla simulazione, consente di visualizzare direttamente quando i valori coincidono e quando invece viene registrata una differenza elevata tra i diversi ambienti. Le due sale mostrano un andamento coincidente, per tutta la durata del periodo di monitoraggio, ossia un periodo pari a sei mesi, da giugno a dicembre.

È inoltre rilevabile che gli sbalzi termici giornalieri che si ottengono sono molto elevati nella Croce Centrale, a partire dalla seconda metà di Agosto, a differenza della stanza del Tribunale d'Amore, in cui, invece, si registrano sbalzi termici notevolmente inferiori.

L'andamento delle due sale risulta leggermente discorde solamente nei mesi di Novembre e Dicembre, durante i quali le temperature della sala della Croce Centrale, oltre che registrare degli sbalzi termici superiori rispetto al Tribunale d'Amore, risultano anche essere costantemente superiori alle temperature registrate nell'altra sala a confronto. Si tratta comunque di una discordanza piuttosto lineare e pari a 2-3°C al massimo.

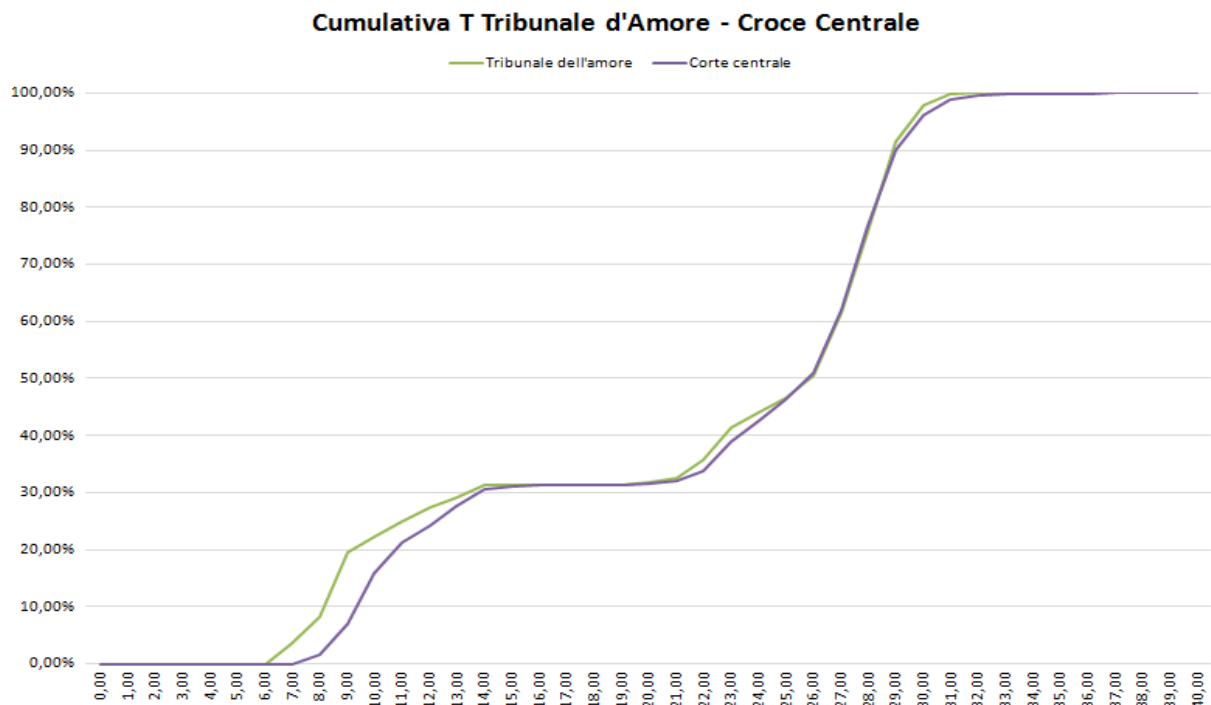


Immagine 28_Cumulativa delle temperature registrate¹⁰⁹

¹⁰⁹ Registro delle immagini

La frequenza cumulata relativa alle temperature interne dei due ambienti in esame permette di ricavare informazioni importanti per ciò che concerne la stima delle temperature rilevate. Con questo grafico è possibile calcolare la percentuale di volte che viene registrato un valore inferiore ad una determinata temperatura.

Si nota sin da subito come la frequenza cumulata delle temperature della Croce Centrale e del Tribunale d'Amore siano pressoché sempre coincidenti, ad esclusione delle temperature che vanno dagli 8 ai 13°C. Infatti, nella Croce Centrale le temperature inferiori agli 8°C vengono registrate con una frequenza pari al 10%; le temperature inferiori ai 9°C si presentano con una frequenza raddoppiata, pari dunque al 20%; quelle inferiori ai 12°C si presentano con una frequenza del 15% circa e le temperature inferiori ai 13°C si presentano con una frequenza del 30%; mentre, rispettivamente, per il Tribunale d'Amore, alle stesse temperature appena elencate corrispondono le seguenti frequenze: 1%; 8% circa; 23%; 27%. Per entrambe le sale si ottengono frequenze cumulate pari al 90% delle temperature inferiori ai 29°C e pari al 100% delle temperature inferiori ai 31°C.

In particolare, inoltre, si nota come la coincidenza delle due curve per i valori compresi tra i 14 ed i 22°C sia dovuta alla transizione di fase, ossia la trasformazione di un sistema termodinamico da uno stato di aggregazione ad un altro. La principale caratteristica di una transizione di stato è il cambiamento di una o molteplici proprietà fisiche, alla minima variazione di variabili termodinamiche come la temperatura¹¹⁰. Tra queste due temperature c'è dunque rischio di condensa.

¹¹⁰ L'equazione di Clausius-Clapeyron descrive la variazione della pressione con la temperatura lungo la curva di equilibrio tra due fasi di una stessa sostanza: $dp/dT = \lambda / (T(v_B - v_A))$ Dove "p" è la pressione, "T" la temperatura, " λ " è il calore latente (per unità di massa) di transizione da una fase all'altra, "v" è il volume specifico delle due fasi A e B. Tale equazione regola i cambiamenti di stato.

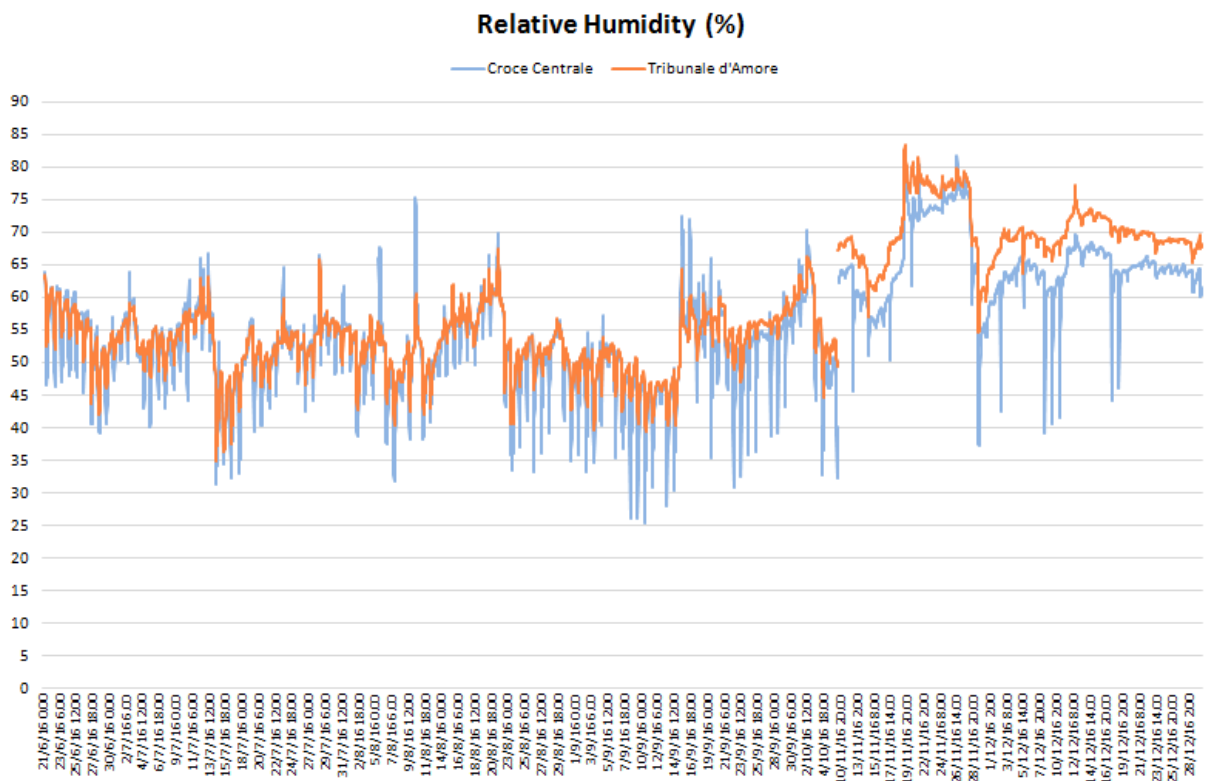


Immagine 29_Confronto dell'umidità relativa registrata dalle sonde nelle due stanze¹¹¹

Il presente grafico mette a confronto i trend dell'umidità relativa delle due stanze prese in analisi. Tale grafico è quindi utile per comprendere le differenze tra i diversi livelli di umidità relativa che possono essere raggiunti nei due diversi ambienti.

Come risultava anche dal confronto tra i trend delle temperature, l'andamento nelle due sale è molto simile e spesso coincidente, al di fuori dei mesi di Novembre e Dicembre, nei quali viene registrato un livello di umidità maggiore nella sala del Tribunale d'Amore. Questo conferma la correlazione tra il parametro della temperatura e quello dell'umidità relativa, da cui deriva un andamento lineare inverso: il grafico dove vengono messe a confronto le temperature registrate nei due ambienti durante i sei mesi di monitoraggio, registrava infatti temperature minori nella stanza del Tribunale d'Amore, il che giustifica una percentuale di umidità relativa maggiore rispetto a quella registrata nella Croce Centrale, che presentava temperature più elevate e dunque umidità più contenuta.

¹¹¹ Registro delle immagini

Le differenze giornaliere, come rilevato anche dai singoli grafici commentati precedentemente, registrano valori molto più elevati nella sala della Croce Centrale rispetto a quelli della stanza del Tribunale d'Amore.

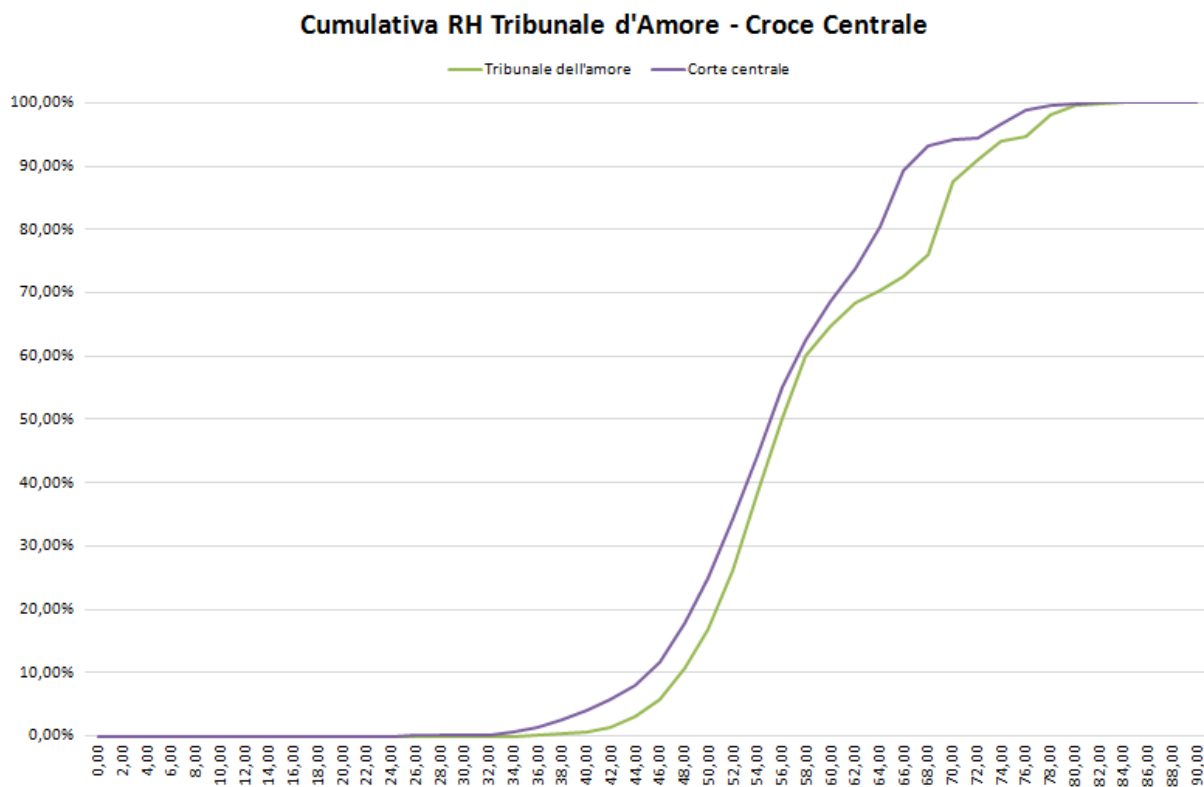


Immagine 30_Cumulativa dei valori di umidità relativa registrati nelle due stanze¹¹²

La frequenza cumulata dell'umidità relativa all'interno dei due ambienti analizzati offre informazioni importanti per la stima dell'umidità relativa rilevata. Il grafico ci segnala la percentuale di volte che viene registrato un livello di umidità relativa inferiore ad un determinato valore percentuale, che, secondo i dati rilevati dalle sonde tra il 21 Giugno e il 29 Dicembre 2016, va da un minimo di 34% ed un massimo pari all'80% per entrambi gli ambienti analizzati.

Si nota sin da subito che l'andamento delle due curve si distingue nel tratto in cui i valori di umidità relativa vanno dal 62% al 72%: la disuguaglianza maggiore si ha quando si può leggere che, nella Croce Centrale, i valori di umidità relativi inferiori al

¹¹² Registro delle immagini

64% vengono registrati con una frequenza dell'80%, mentre, alla medesima frequenza corrispondono valori di umidità inferiori al 70% nella stanza del Tribunale d'Amore.

In entrambi gli ambienti le frequenze cumulate ottenute per i valori di umidità relativa inferiori al 34% risultano essere pari a zero, mentre per i valori maggiori dell'80% si ottengono frequenze cumulate pari al 100%. In particolare, inoltre, si nota come nelle due sale, l'andamento delle frequenze dell'umidità relativa aumenti in modo esponenziale fino al 60% per entrambe, per poi continuare a crescere esponenzialmente nella Croce Centrale fino a valori di umidità inferiori al 70% e rallentare fino all'80%; nel Tribunale d'amore, invece, l'andamento cresce esponenzialmente fino al 68% e rallenta solo successivamente.

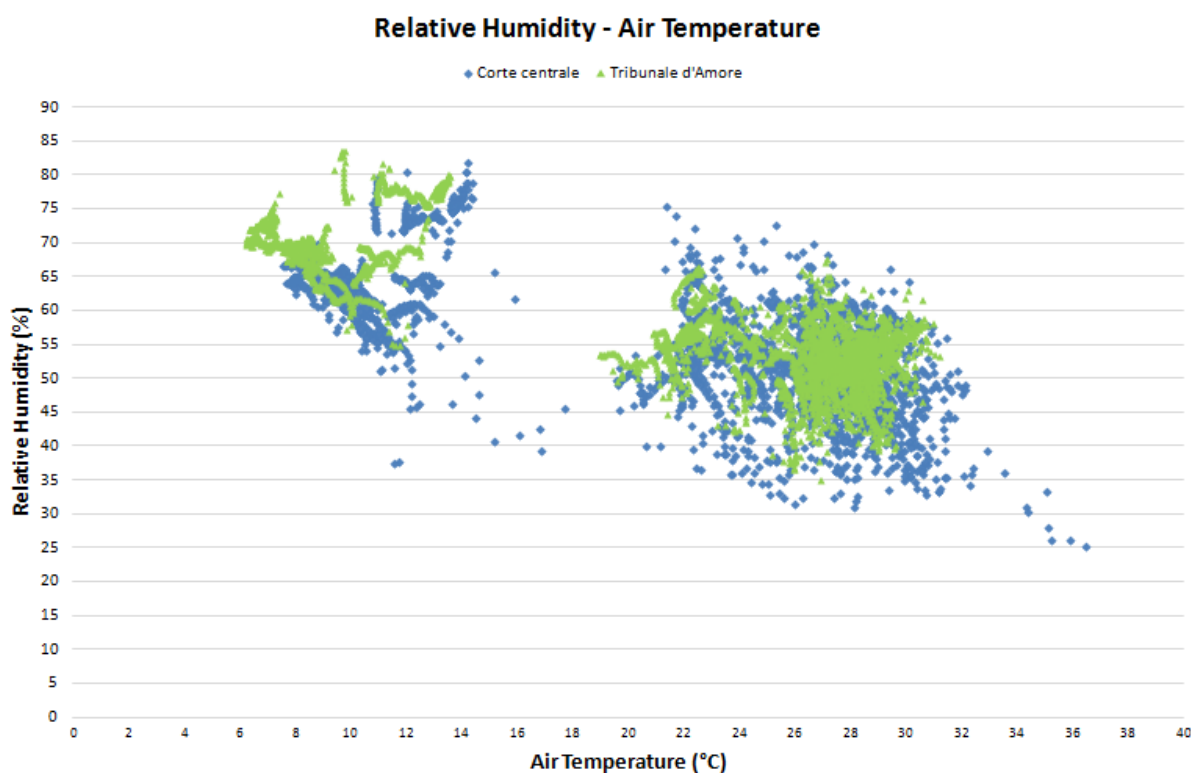


Immagine 31_Confronto e rapporto di temperatura e umidità registrata dalle sonde nelle due stanze¹¹³

Il grafico soprastante mostra il rapporto della temperatura dell'aria con l'umidità relativa registrati nelle due stanze in analisi. Da una prima lettura si nota come il grafico individui due zone in maniera evidente: viene rilevato per entrambi gli ambienti l'andamento in regime invernale, a sinistra, e durante il regime estivo, a destra. Le

¹¹³ Registro delle immagini

temperature invernali del Tribunale d'Amore sono un paio di gradi inferiori rispetto a quelle registrate nella Croce Centrale: le prime variano infatti tra i 6 ed i 14°C, mentre nella Croce Centrale si registrano temperature invernali che rientrano in un range compreso tra gli 8 e i 14°C. Inoltre è interessante notare come non vi siano quasi mai temperature tra i 14 ed i 16°C, a parte rare situazioni puntuali registrate nella sala della Croce Centrale. Nella stanza del Tribunale d'Amore si nota anche che i valori, in particolare nel periodo estivo, risultano essere più raggruppati e concentrati tra i 26 ed i 30°C, con livelli di umidità che vanno dai 45 al 60%. Qui i valori della temperatura dell'aria variano meno rispetto a quelli registrati durante lo stesso periodo nella sala della Corte Centrale, perché più la stanza è piccola e minore sarà la ventilazione all'interno di essa. L'ambiente più piccolo, dunque quello del Tribunale d'Amore, comporta però una maggiore concentrazione di umidità relativa: nel periodo invernale si nota infatti come la maggior parte dei valori di umidità della stanza del Tribunale d'Amore superi il 70%, mentre nella Croce Centrale si registrano valori di umidità per la maggior parte inferiori a questa percentuale.

1.3.2. Illuminamento

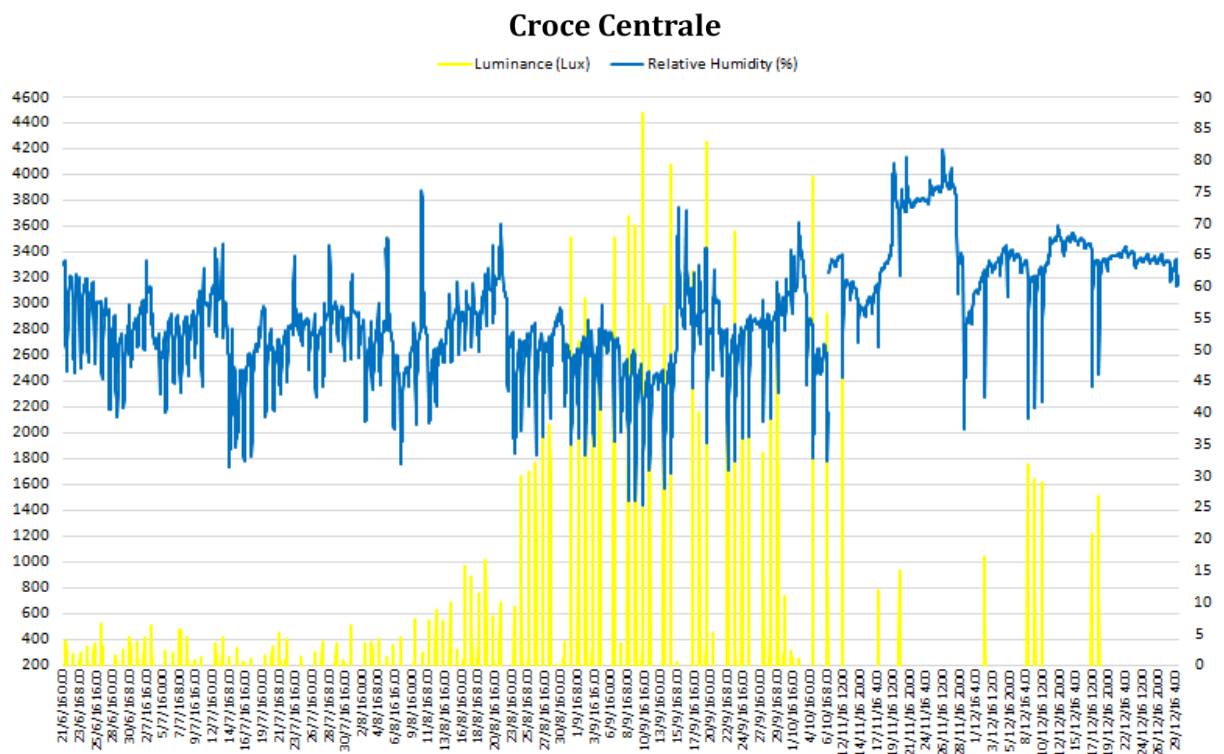


Immagine 32_Rapporto tra illuminazione e umidità registrata dalle sonde nella Sala a Crociera¹¹⁴

¹¹⁴ Registro delle immagini

Tutte le sonde all'interno delle stanze sono dotate di sensori di illuminazione, i quali hanno permesso di rilevare durante la campagna di monitoraggio la quantità di luce presente all'interno degli ambienti analizzati.

Il parametro dell'illuminazione, misurata in Lux, permette di definire il comfort visivo degli utenti che visitano la Villa, essendo l'illuminazione un parametro determinante per l'acuità visiva dei visitatori, ossia la loro capacità di percepire i dettagli ad una certa distanza. L'illuminazione influisce anche sulla velocità di percezione visiva, che può essere definita come il processo cognitivo dato dall'integrazione tra l'input sensoriale visivo e l'esperienza dell'individuo, dunque in questo caso il tempo richiesto per eseguire un compito visivo. Il comfort visivo è determinato da: una buona distribuzione delle luminanze; assenza di abbagliamento; un adeguato livello di illuminamento; una corretta direzionalità della luce; una sufficiente uniformità ed una buona resa cromatica delle sorgenti e degli ambienti. Per queste ragioni è importante analizzare i dati di illuminamento che sono stati rilevati durante il monitoraggio.

La relazione tra la radiazione solare che entra dalle superfici vetrate e l'umidità relativa è la seguente: le percentuali maggiori di umidità relativa vengono registrate quando l'illuminazione è bassa o totalmente assente, dal 21 al 28 Novembre infatti, ad esempio, viene registrata l'assenza di illuminazione ed in quelle giornate si hanno dei picchi di umidità relativa che superano il 75%; quando invece si hanno giornate soleggiate e l'illuminazione è dunque maggiore, l'aria si secca e, come si può constatare dal grafico osservando il periodo che va da fine Agosto fino a Ottobre, i valori di umidità relativa possono arrivare ad essere inferiori anche al 35%.

Analizzando i valori di illuminamento registrati nella Croce Centrale, data la presenza di numerose superfici vetrate, essi risultano essere molto elevati, raggiungendo anche valori superiori ai 3000 lux e, in alcune giornate di Settembre si hanno picchi al di sopra dei 4000 lux. I dati rendono subito distinguibili i periodi in cui ci sono state giornate soleggiate (da fine Agosto fino ad Ottobre) da quelle più nuvolose (periodo invernale). Ciò che può risultare interessante sarebbe stabilire se l'illuminazione può risultare un problema tale in termini di rischio microclimatico da dover prevedere delle schermature.

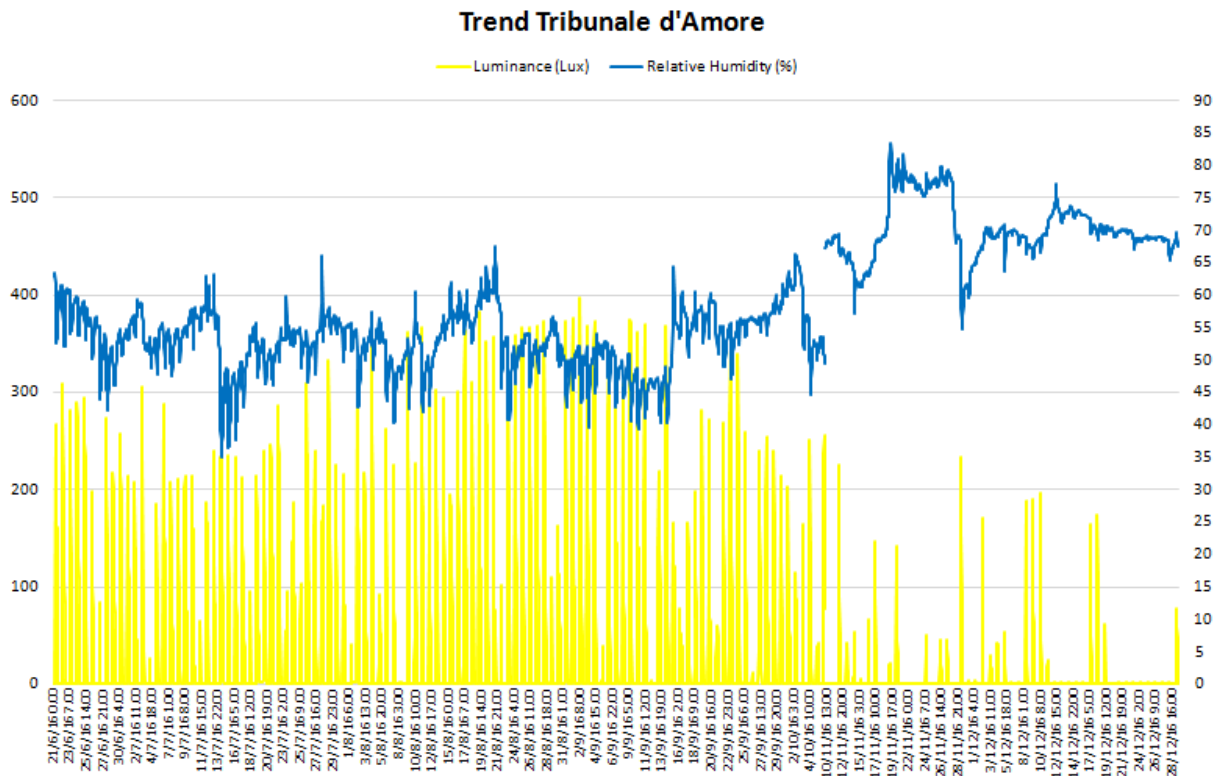


Immagine33_Rapporto tra illuminazione e umidità registrata dalle sonde nel Tribunale d'Amore¹¹⁵

Il grafico sopra inserito riporta i dati di illuminamento e di umidità relativa della stanza del Tribunale d'Amore. Non è risultato possibile fare un confronto diretto, su uno stesso grafico, dei dati relativi all'illuminamento dei due ambienti analizzati, per via della diversità dei dati acquisiti.

La stanza del Tribunale d'amore registra dei valori di illuminamento molto inferiori rispetto a quelli della Croce Centrale. Questa stanza è infatti molto più piccola e vi sono meno superfici vetrate dalle quali può entrare illuminazione naturale, che non viene comunque integrata con l'illuminazione artificiale. I valori registrati raggiungono, nel periodo estivo, dei picchi massimi di 350 lux circa, mentre in inverno, nelle giornate più soleggiate possiamo ottenere valori pari a 150 lux e dei minimi che superano di poco lo zero. L'andamento del grafico rispetta la correlazione tra illuminamento e umidità relativa, per cui al crescere della prima cala la seconda e viceversa, dando luogo ad un andamento lineare inverso tra rispettivi valori dei due parametri.

¹¹⁵ Registro delle immagini

1.3.3. CO2

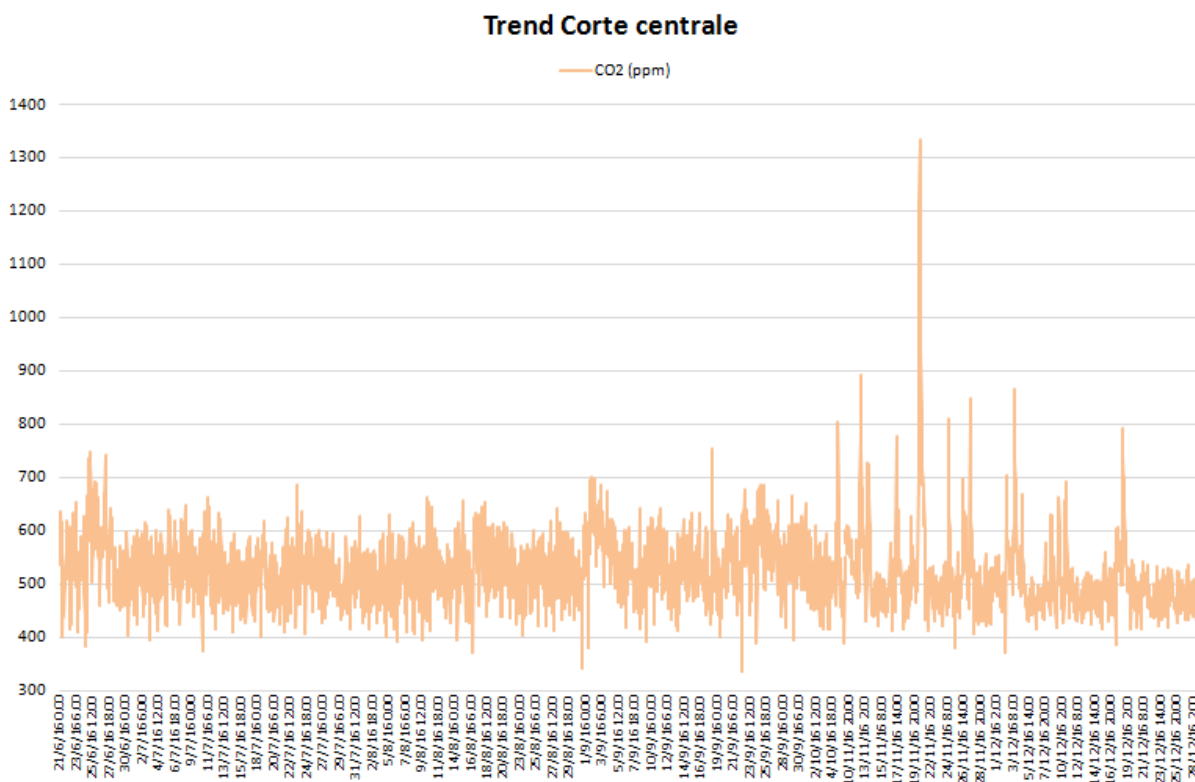


Immagine 34_ Valori di CO2 registrati dalle sonde nella Sala a Crociera¹¹⁶

La sonda che è stata posizionata all'interno della sala della Croce Centrale permette di rilevare anche i valori di CO2 immessi nell'ambiente. L'analisi di questo dato è importante poiché, secondo i criteri stabiliti dalle autorità competenti, la qualità dell'aria interna (IAQ¹¹⁷) in un ambiente è considerata accettabile quando non sono presenti inquinanti specifici in concentrazioni dannose. Gli inquinanti presenti in uno spazio confinato, quale ad esempio la sala della Croce Centrale, sono di varia origine: chimici, fisici e biologici; tra questi rientrano anche i valori di CO2, ossia di biossido di carbonio.

Osservando i valori riportati nel grafico è subito possibile individuare il range di CO2 presente nella Croce Centrale: tra i 400 e i 650 ppm¹¹⁸. Si riscontrano anche giornate in cui sono stati rilevati dei picchi di concentrazione della CO2, dovuti presumibilmente ad una maggiore affluenza dei visitatori. Inoltre è possibile notare un picco registrato il 20

¹¹⁶ Registro delle immagini

¹¹⁷ Internal Air Quality

¹¹⁸ parti per milione

Novembre che supera addirittura i 1300 ppm, tale dato rappresenta un'anomalia dovuta probabilmente ad un errore nella rilevazione del dato per un momentaneo malfunzionamento della sonda, o, più probabilmente può essere stato provocato da qualche visitatore o custode che si è avvicinato alla sonda per guardarla o spostarla, provocando un repentino aumento della CO2 nei pressi di essa.

I valori registrati sono importanti per coloro che visitano questa stanza, poiché risultano rientrare negli standard raccomandati e consentiti fissati dall'OSHA¹¹⁹, che ha redatto le caratteristiche limite per una concentrazione di anidride carbonica ammissibile nell'aria pari allo 0.05% (500 ppm) per un'esposizione continua (es. 8 ore lavorative) e uno 0.3% (3000 ppm) per un'esposizione breve (10 minuti). Non appena le concentrazioni di CO2 superano questi livelli si noteranno infatti degli immediati effetti sgradevoli, o malori più o meno accentuati a seconda della sensibilità personale: concentrazioni superiori allo 0.4% sono considerate immediatamente pericolose per la salute. Si considera che i visitatori della villa siano esposti per un lasso di tempo breve alla CO2, superiore quasi sicuramente ai 10 minuti ma non paragonabile alle 8 ore lavorative: si presuppone che la durata media della visita possa essere di circa un'ora.

¹¹⁹ **Occupational Safety and Health Administration (Amministrazione per la Salute e la Sicurezza Professionale)**

Capitolo V

Modellazione

1. La Modellazione

La fase di modellazione, avvenuta grazie all'utilizzo coordinato di più software, ovvero AutoCAD, SketchUp e IES.VE, ha permesso di realizzare un modello virtuale, o *virtual building*, che rappresenta lo stato di fatto attuale di Villa Barbaro; la realizzazione di quest'ultimo ha consentito di effettuare modifiche e simulazioni sul modello, col fine di definire ipotetici interventi e strategie che potrebbero essere adottate a Villa Barbaro per garantirne una migliore vivibilità ed una migliore conservazione della stessa. Il punto di forza della metodologia di indagine specifica proposta, risiede infatti nella possibilità, attraverso un modello virtuale, fedele e coerente con la realtà, di determinare preventivamente quali interventi possano giovare alla conservazione del bene, evitando la componente di rischio che si avrebbe lavorando sull'originale.

1.1. Realizzazione del modello virtuale

Il primo passaggio per la realizzazione del modello è stato segnato dal reperimento delle planimetrie della Villa, grazie alle quali è stato possibile riprodurre le piante di Villa Barbaro, tramite il programma di progettazione vettoriale AutoCAD. I file elaborati su AutoCAD sono stati successivamente importati su un programma di grafica, utilizzato principalmente per la progettazione architettonica, urbanistica ed ingegneristica, che permette di disegnare e modellare volumi con discreta semplicità: SketchUp. Questo programma ha permesso la realizzazione di un modello 3D della Villa, rispettandone le caratteristiche geometriche:

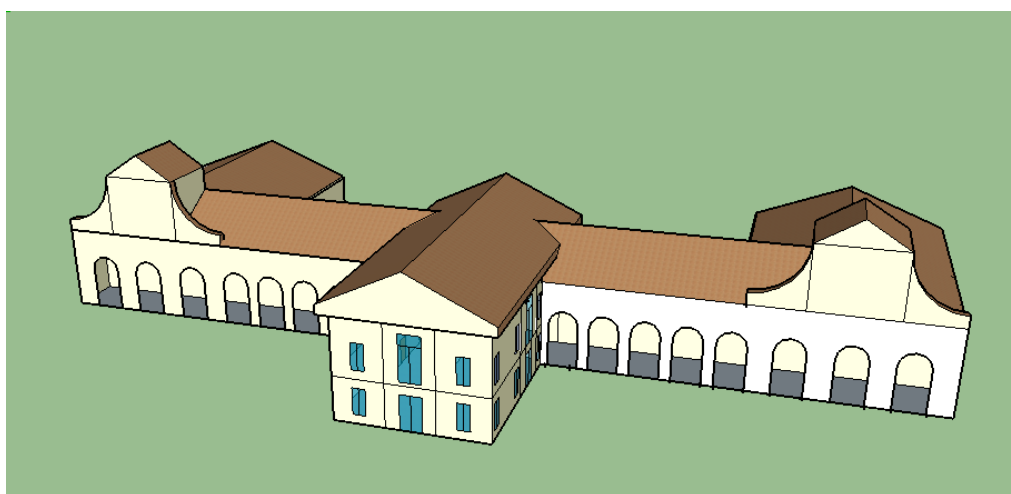


Immagine 35_Realizzazione modello 3D con SketchUp¹²⁰

¹²⁰ Registro delle immagini

È stato successivamente scaricato un *plug-in* per permettere di trasferire il modello 3D realizzato su SketchUp nel programma IES.VE. Perché fosse possibile il passaggio del modello da un programma all'altro, gli ambienti del modello virtuale realizzato sul programma di grafica SketchUp vengono riconosciuti e “tradotti”, in modo tale che possano essere letti e caricati da IES.VE:

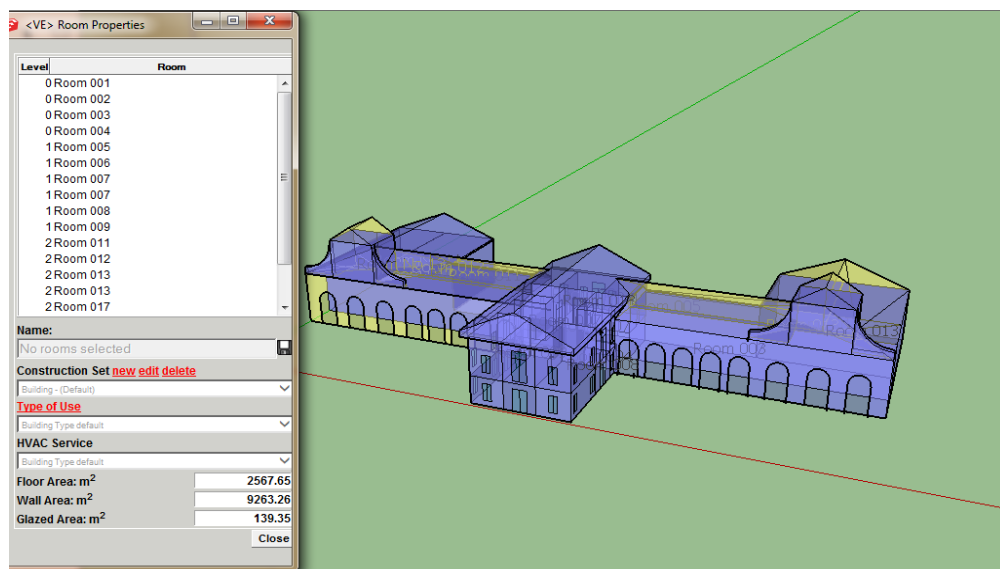


Immagine 36_Individuazione ambienti con plug-in in SketchUp¹²¹

Infine il modello è stato importato su IES.VE, dove, in assonometria, si presenta così:

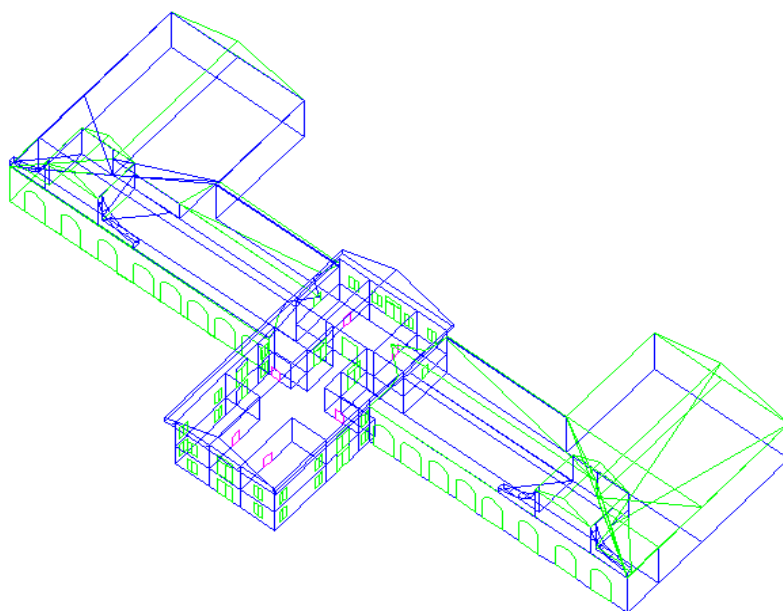


Immagine 37_Importazione del modello su IES.VE¹²²

¹²¹ Registro delle immagini

¹²² Ibidem

1.2. Software di simulazione utilizzato: IES.VE

IES.VE, ossia “*Virtual Environment by Integrated Environmental Solutions*”, è un software BIM (*Building Information Modeling*) in grado di simulare un edificio in un sistema complesso, tenendo conto di diverse variabili, tra cui le variabili geometriche; quelle climatiche; geografiche; la ventilazione; gli scambi di energia; l’illuminamento; l’ombreggiamento ecc.

Si tratta di un software nato per l’elaborazione di analisi di performance energetica e ambientale per la modellazione della sostenibilità degli edifici: aiuta alla realizzazione di edifici che riducano drasticamente le emissioni di CO₂ prodotte ottimizzando l’utilizzo dell’energia e di altre risorse anche in edifici esistenti.

Questo software, grazie alla sua compatibilità con programmi come Autodesk®, Revit® e Google SketchUp, consente di lavorare con protocolli internazionali e di ottenere certificazioni BREEAM, LEED e Green Star. IES.VE permette inoltre di realizzare simulazioni dinamiche del sistema edificio-impianto e verificare le prestazioni dell’edificio sia retroattivamente che considerando ipotetiche modifiche future. Il motore di calcolo utilizzato è stato approvato da *U.S. Department of Energy* (DOE) e permette di integrare le valutazioni energetiche alla fluidodinamica interna degli ambienti; a simulazioni di illuminazione artificiale e naturale; alla ventilazione naturale e ibrida ed alla simulazione degli impianti di condizionamento.

Una volta caricato il modello su IES.VE, è stato necessario configurarlo: non si tratta di una configurazione unicamente architettonica, poiché è stato essenziale infatti specificare un insieme di dati che hanno permesso al programma di ottenere un modello virtuale i cui parametri geografici, architettonici e climatici sono corretti ed il più possibile reali.

Le principali variabili richieste da IES.VE sono: la localizzazione geografica, la stratigrafia dell’involucro, i dati climatici esterni.

1.2.1. Variabile geografica

Le prime informazioni che vanno date al programma, una volta caricato il modello tridimensionale che si vuole analizzare, riguardano la localizzazione dell'edificio. Le informazioni riguardanti le geometrie dell'oggetto di studio sono già acquisite dal programma una volta avvenuta l'importazione da SketchUp. Le informazioni geografiche, incluso l'orientamento della Villa, sono state dunque sin da subito inserite da *APlocate*, georeferenziando così il modello:



Location	Treviso/Istria, Italy
Latitude (°)	45°68' N
Longitude (°)	12°10' E
Altitude (m)	46.0 m s.l.m.
Terrain type	Suburbs
Wind Exposure	Normal

Immagine 38_Importazione del modello su IES.VE¹²³

Maser non è presente tra le località salvate su IES.VE, con le relative informazioni geografiche e climatiche, è stato perciò indicato Treviso, i cui dati di latitudine e longitudine, si discostano di poco da quelli reali della Villa, che sono rispettivamente pari a: 45°81' N e 11°98' E.

Successivamente, per completare le informazioni base del modello, accedendo a “*Building Template Manager*”, è stato possibile settare le *Thermal Condition*, definendo

¹²³ Ibidem

la destinazione d'uso a museo dell'edificio. In questa sezione sono state inoltre specificate le attività che vengono svolte all'interno degli ambienti studiati e l'inattività dei sistemi di condizionamento.

1.2.2. Variabile stratigrafica

Il software prevede inoltre l'inserimento dei dati relativi alla stratigrafia delle strutture murarie e di solaio della Villa. Si è quindi proceduto con la configurazione della fabbrica, accedendo da “*Building Template Manager*” alla sezione *Construction*, dove è possibile specificare i materiali che costituiscono Villa Barbaro con le relative dimensioni.

Per ottenere le informazioni necessarie all'indagine riportata nel presente elaborato, si è rivelata fondamentale la definizione della stratigrafia e dello spessore dei muri perimetrali e delle partizioni interne, ma anche della tipologia degli infissi, dei quali è stata inoltre indicata la modalità e la frequenza di apertura.

Alcuni materiali, come quelli delle porte e delle finestre, sono stati facilmente identificabili anche durante i sopralluoghi effettuati, per quanto riguarda invece la stratigrafia dei muri si è ipotizzata una muratura a sacco:

External wall	Muri esterni: <ul style="list-style-type: none"> ○ Mattoni ○ Pietrisco e malta di calce ○ Mattoni
Internal partition	Muri divisori interni: <ul style="list-style-type: none"> ○ Mattoni ○ Pietrisco e malta di calce ○ Mattoni
Internal Windows External Windows	Finestre interne ed esterne: <ul style="list-style-type: none"> ○ Vetri singoli trasparenti ○ Infissi in legno
Doors	Porte: <ul style="list-style-type: none"> ● Legno

Lo spessore medio delle pareti esterne è pari a 80cm, mentre le partizioni interne misurano mediamente 60cm.

Le caratteristiche specifiche dei materiali indicati per i muri della Villa sono le seguenti:

External wall:

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m ³	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m ² K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)
[BASEBK01] Brickwork (Outer Leaf)	200.0	0.8400	1700.0	800.0	0.2381	40.000
[SST] SANDSTONE	400.0	1.8300	2200.0	712.0	0.2186	262.000
[BASEBK01] Brickwork (Outer Leaf)	200.0	0.8400	1700.0	800.0	0.2381	40.000

Immagine 39_Tabella stratigrafia muri esterni¹²⁴

Internal partition:

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m ³	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m ² K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)
[BASEBK01] Brickwork (Outer Leaf)	150.0	0.8400	1700.0	800.0	0.1786	40.000
[SST] SANDSTONE	300.0	1.8300	2200.0	712.0	0.1639	262.000
[BASEBK01] Brickwork (Outer Leaf)	150.0	0.8400	1700.0	800.0	0.1786	40.000

Immagine 40_Tabella stratigrafia partizioni interne¹²⁵

Le informazioni in merito alla gestione dell'apertura e chiusura delle finestre è stata poi specificata in “*Macroflo Opening Types*”. Queste indicazioni sono state fondamentali per l'elaborazione della simulazione termica e per l'analisi della fluidodinamica negli ambienti studiati.

Le informazioni che vengono specificate in questa sezione indicano:

- Tipologia di esposizione
- Modalità di apertura
- Capacità di apertura degli elementi –espressa in percentuale
- Angolo massimo di apertura
- Rapporto altezza/lunghezza
- Coefficiente di flusso
- Gradi di temperatura del davanzale
- Periodi di apertura durante la giornata

¹²⁴ Ibidem

¹²⁵ Ibidem

Finestre interne ed esterne	Exposure type	Exposed wall
	Opening category	Window centre-hung
	Openable area	90 %
	Max angle open	80°
	Proportions	Length/Height = 1,7
	Crack flow coefficient	0,150 (l/smPa)
	Crack Length	5% of opening perimeter
	Opening Threshold	0°C
	Degree opening	8 AM – 6 PM
	(Modulating profile)	

1.2.3. Variabile Climatica

Nella sezione *APlocate*, già citata per l'inserimento delle indicazioni geografiche, è stato possibile definire le condizioni climatiche esterne relative all'anno 2016. Questi dati sono stati ottenuti dal sito www.arpa.veneto.

Le medie mensili ottenute sono state inserite nel programma:

Mese	Temperatura minima (°C)	Temperatura massima (°C)
Gennaio	-1.50	8.50
Febbraio	4.10	9.90
Marzo	5.30	13.80
Aprile	9.40	16.60
Maggio	12.00	21.80
Giugno	16.60	28.50
Luglio	19.50	27.50
Agosto	18.50	25.50
Settembre	16.30	24.80
Ottobre	9.30	18.00
Novembre	1.40	14.10
Dicembre	-1.10	7.10

2. Errori e semplificazioni adottate

Il modello 3D di Villa Barbaro realizzato su sketchUp, per poter essere caricato sul programma BIM IES.VE, è stato modificato: sono state infatti effettuate delle semplificazioni geometriche in modo tale che esso potesse essere riconosciuto dal software di IES.VE.

- Innanzitutto il modello è stato ridisegnato senza spessori, poiché in fase di “traduzione” e riconoscimento degli ambienti, i muri venivano altrimenti identificati come stanze.

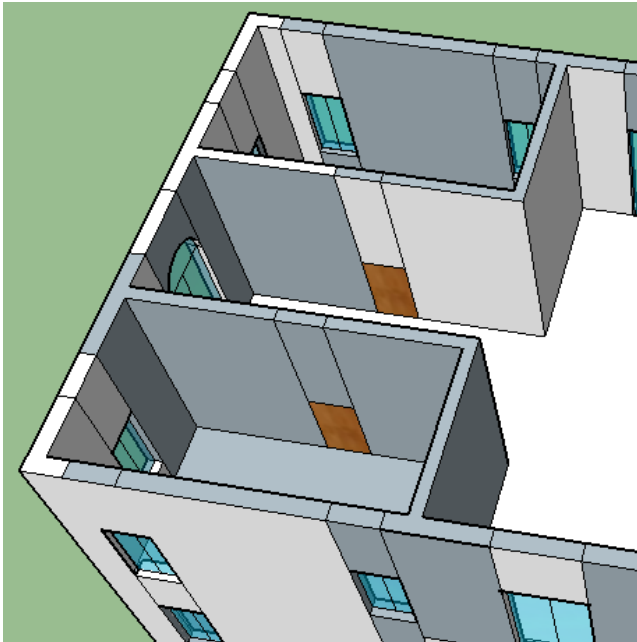
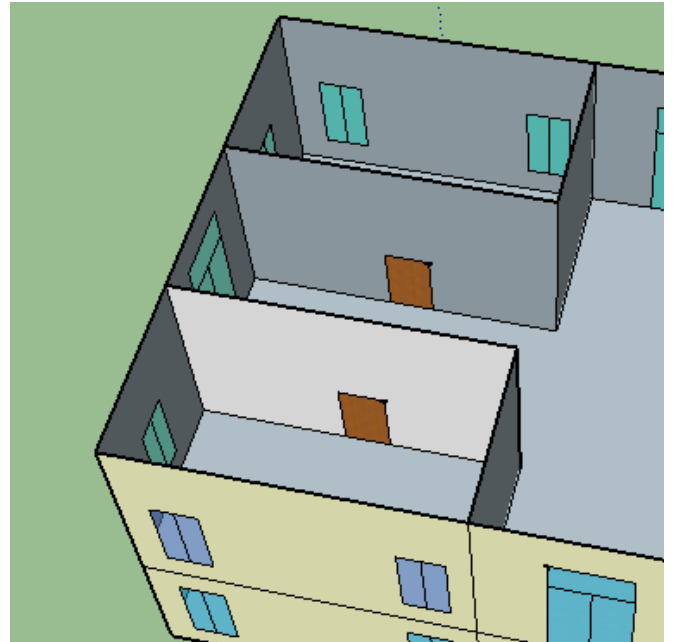


Immagine 41 _Eliminazione spessori¹²⁶



- Inoltre, sempre in fase di identificazione e “traduzione” degli ambienti, è noto che si ha un’errata importazione delle geometrie delle finestre dovuta al disegno degli infissi. Per ovviare questo problema è stata adottata sin dal principio una semplificazione, ovvero non sono stati disegnati gli infissi nel modello realizzato su SketchUp.

¹²⁶ Ibidem

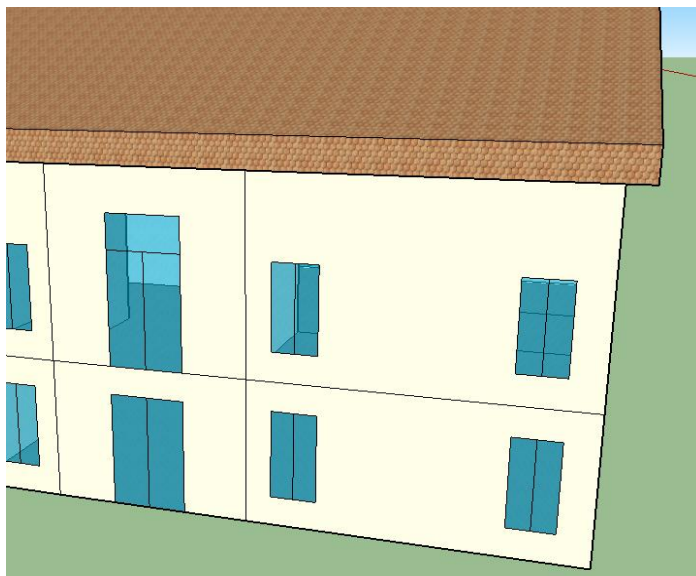


Immagine 42 _Assenza profilo infissi¹²⁷

- In seguito a diversi tentativi di simulazione, in cui il problema di importazione provocava squilibri di sbilanciamento dei flussi d'aria, dovuti alla presenza di aperture arcate delle finestre, si è deciso di modificare la geometria degli elementi arcuati rendendoli lineari e squadrati.

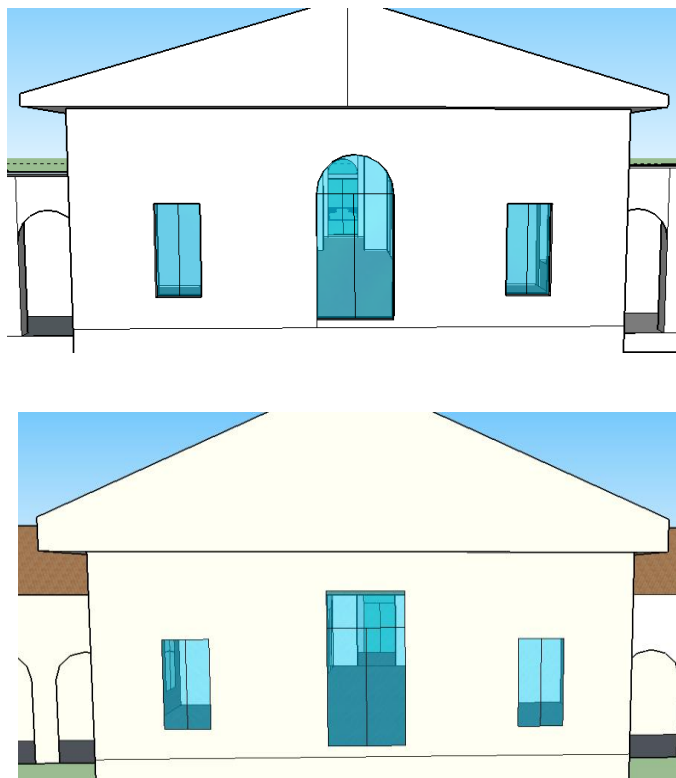


Immagine 43 _Risagomatura elementi arcuati¹²⁸

¹²⁷ Ibidem

¹²⁸ Ibidem

Capitolo VI

Risultati

1. Simulazione dello stato di fatto

Il modello virtuale realizzato ha permesso di effettuare simulazioni termodinamiche, ottenendo i dati microclimatici degli ambienti interni alla Villa, ed analisi fluidodinamiche, le quali hanno consentito di studiare i movimenti dei fluidi negli ambienti considerati.

È stato inoltre calibrato il modello realizzato su IES.VE, confrontando i dati ottenuti dalla simulazione termodinamica con quelli rilevati dalle sonde, in modo tale da dimostrare che il *virtual building*¹²⁹ rappresenti un'affidabile copia della realtà.

1.1. Simulazione termodinamica: il Modulo APACHE

Tramite la modalità di *simulazione Apache*¹³⁰, sul software IES.VE, è stato possibile studiare il comportamento termico di Villa Barbaro. La simulazione è stata fatta per i sei mesi durante i quali è stato eseguito il monitoraggio microclimatico, ossia dal 21 Giugno 2016 al 29 Dicembre 2016 ed i dati ottenuti, visibili nella sezione “Vista” e “Vista Pro”, hanno fornito informazioni riguardo ai parametri giornalieri di temperatura, umidità, comfort e discomfort interno, pressione, ecc. I dati elencati sono poi stati utilizzati per realizzare anche simulazioni fluidodinamiche, nella sezione *CFD*¹³¹ (*Computational Fluid Dynamics*) del programma, descritta al paragrafo 1.3. del capitolo corrente.

Per procedere con la simulazione Apache è stato necessario confermare alcuni dati impostati precedentemente, come la variabile climatica, la stratigrafia dell'involucro e le specifiche condizioni degli ambienti analizzati, sia per quanto riguarda il funzionamento degli impianti di climatizzazione, sia per la gestione dell'apertura e della chiusura delle finestre. Questo passaggio è di fondamentale importanza, poiché tali dati influiscono fortemente sull'elaborazione dei dati microclimatici interni. In questa fase è stato inoltre possibile stabilire quali output si desiderava ottenere: l'analisi della Croce Centrale e del Tribunale d'Amore.

¹²⁹ Glossario

¹³⁰ Ibidem

¹³¹ Ibidem

Per simulare lo stato attuale della Villa è stata specificata l'assenza dei sistemi di riscaldamento e di raffreddamento nelle stanze studiate, analizzando il microclima interno con la sola influenza della ventilazione naturale. Inoltre, prima di avviare la simulazione Apache, è risultato necessario effettuare lo studio dell'irraggiamento e dell'andamento solare: nella sezione “Solar” (*Solar sharing Analysis*) è stato possibile effettuare il calcolo delle ombreggiature, della ventilazione e del riscaldamento e studiare l'andamento della proiezione solare. Questa fase rappresenta un passaggio obbligato per poter accedere al modulo successivo: la simulazione Apache.

1.2. Calibrazione del modello

Per verificare la corrispondenza tra i valori ottenuti dalla simulazione termodinamica e i dati che sono stati registrati dalle sonde utilizzate per la campagna di monitoraggio, è stato effettuato un confronto prendendo come campione la variabile “temperatura dell'aria”. Questa analisi ha permesso di confermare la coerenza del modello virtuale con lo stato di fatto reale di Villa Barbaro.

Viene riportata di seguito la taratura, o *calibrazione*¹³², della temperatura dell'aria all'interno della sala della Croce Centrale:

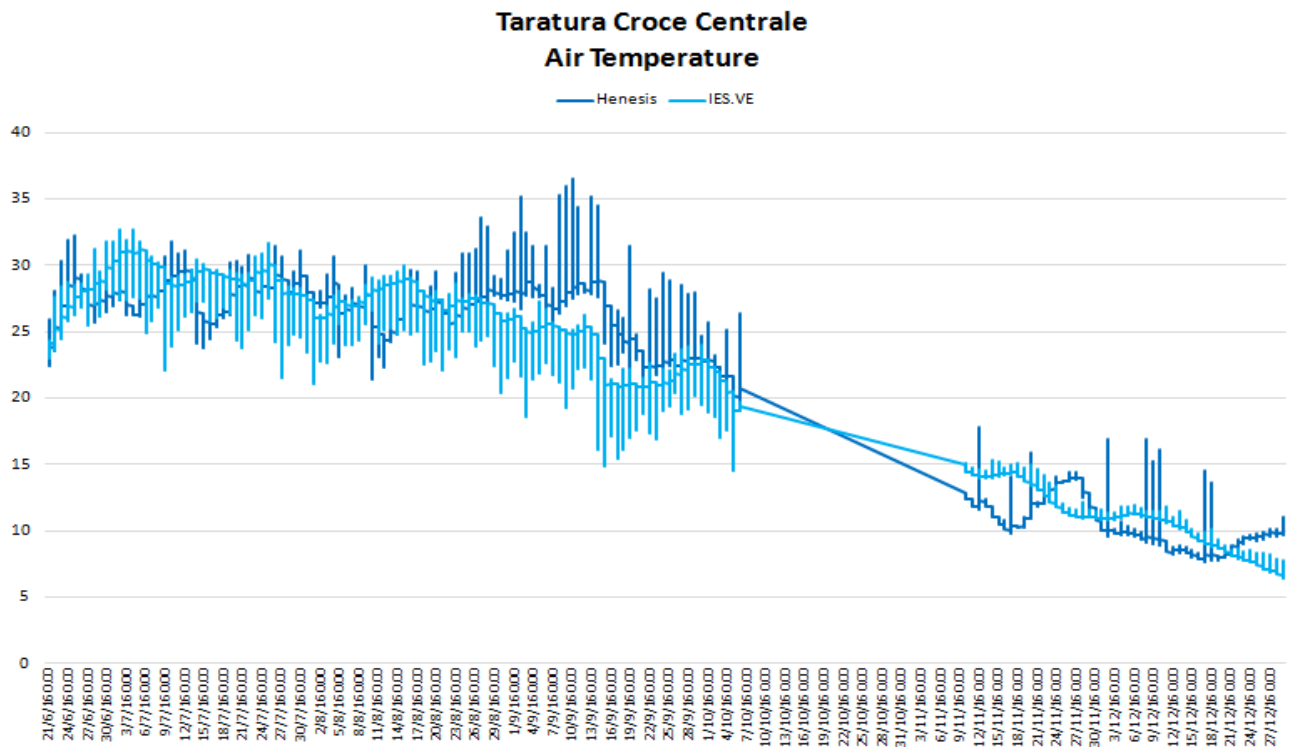


Immagine 44_Importazione del modello su IES.VE¹³³

¹³² *Glosario*

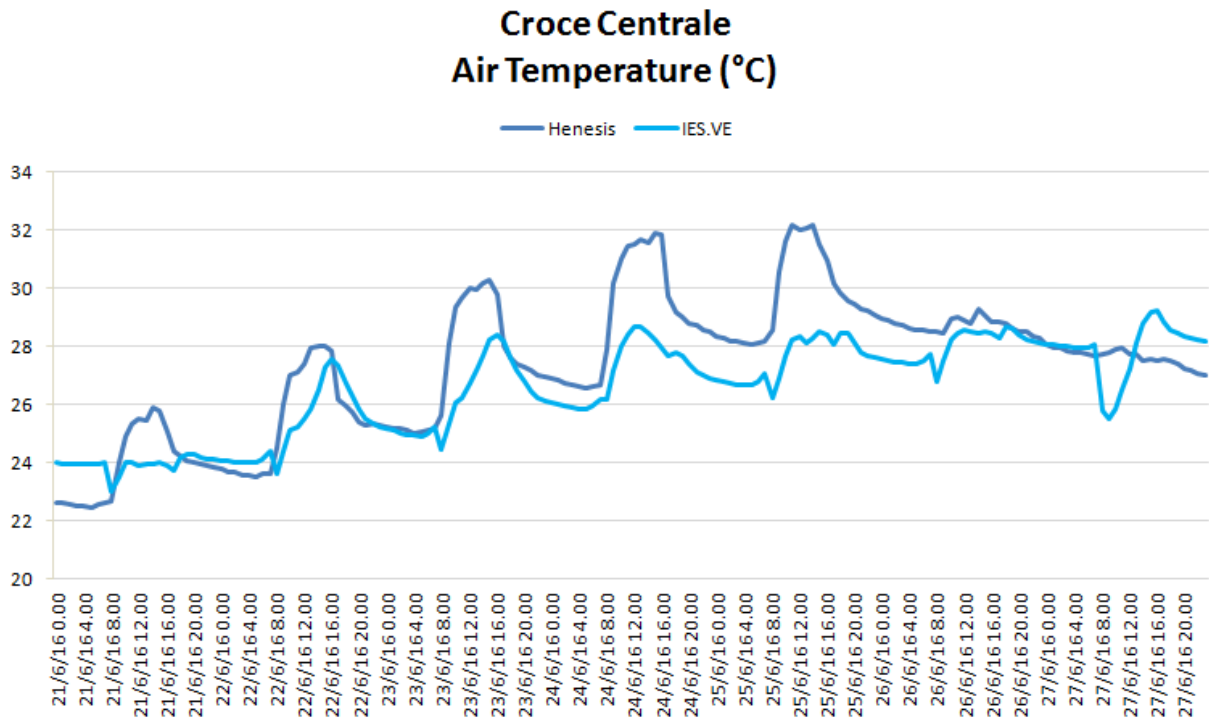


Immagine 45_Importazione del modello su IES.VE¹³⁴

I due grafici soprastanti mettono a confronto i dati della temperatura dell'aria rilevati dalle sonde durante il periodo di monitoraggio all'interno della Croce Centrale, con i dati ottenuti dalla simulazione termodinamica, APACHE, effettuata con il programma IES.VE. Il primo grafico propone un confronto durante tutta la durata della campagna di misurazione, ossia per l'intera durata dei 6 mesi (21 Giugno 2016 – 29 Dicembre 2016), mentre il secondo grafico mostra un confronto settimanale, durante la prima settimana di monitoraggio, in modo tale che si possano leggere i dati nel dettaglio con maggiore facilità.

Attraverso l'analisi dei valori ottenuti ciò che è subito riscontrabile è la coincidenza dell'andamento tra i valori registrati dalle sonde e quelli ottenuti tramite la simulazione APACHE, il modello elaborato con IES.VE risulta infatti calibrato e lo scarto medio è molto piccolo, pari al 2,73%. Osservando il primo grafico si nota che durante il mese di Settembre ed i primi giorni di Ottobre l'andamento dei dati registrati dalle sonde e quelli registrati tramite la Simulazione sono coincidenti ma i valori termici elaborati con IES.VE risultano inferiori rispetto a quelli registrati dal monitoraggio.

¹³³ Ibidem

¹³⁴ Ibidem

Inoltre i dati registrati dalle sonde nei mesi di Novembre e Dicembre registrano degli sbalzi termici giornalieri molto più elevati rispetto all'andamento più regolare restituito dalla Simulazione: le sonde registrano sbalzi anche pari a 10°C, mentre il modello elaborato con IES.VE registra sbalzi massimi di circa 2°C. Questa discordanza è probabilmente dovuta al fatto che la Simulazione tiene conto della media dei valori medi massimi e minimi registrati ogni mese, non considerando quindi le escursioni termiche giornaliere.

Dunque, dall'analisi generale del confronto dei valori della temperatura dell'aria della Croce Centrale si evince che questo ambiente può essere definito come termicamente tarato.

Le stesse considerazioni sono valide per la calibrazione della variabile temperatura studiata nella stanza del Tribunale d'Amore, il cui grafico semestrale è presentato di seguito:

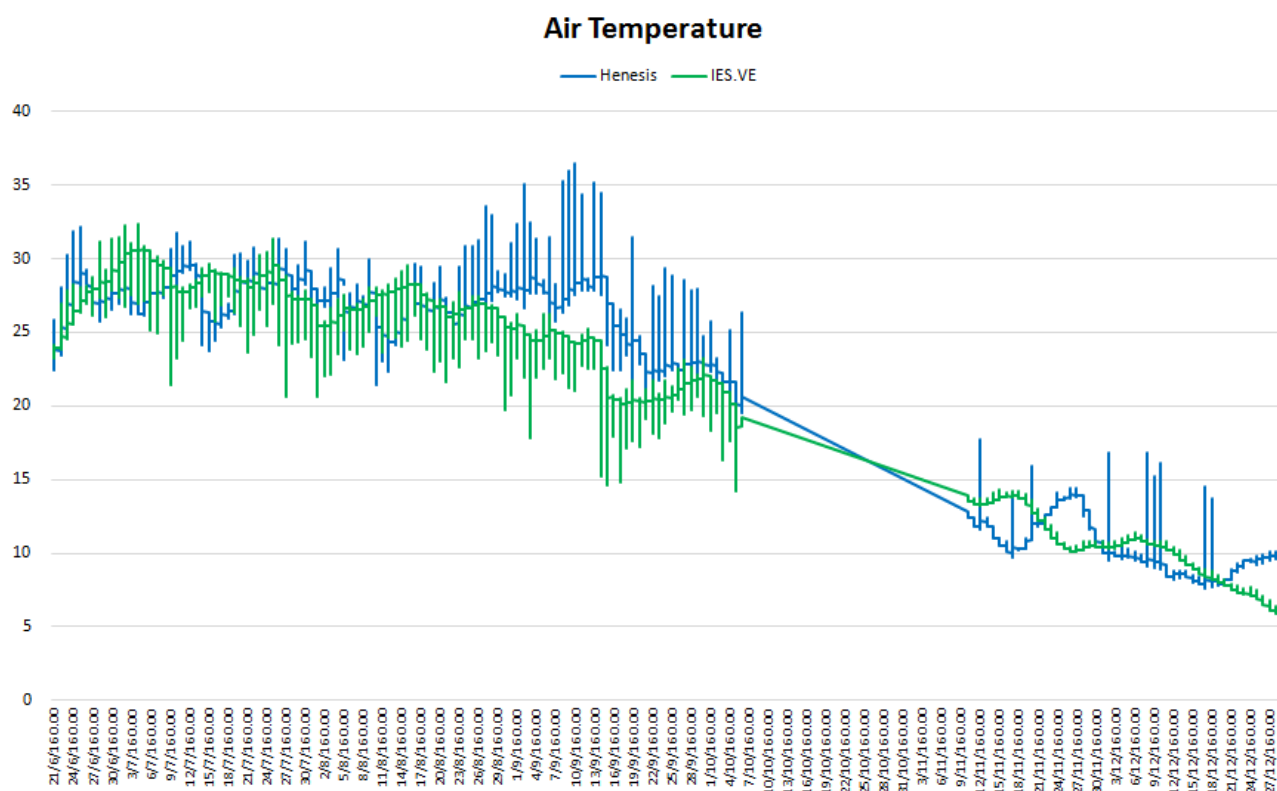


Immagine 46_Importazione del modello su IES.VE¹³⁵

¹³⁵ Ibidem

1.3. Simulazione fluidodinamica CFD

La simulazione dinamica dei fluidi, CFD, ha permesso di simulare l'andamento dei fluidi all'interno di un ambiente virtuale. Il programma restituisce informazioni tramite dati, immagini e video, in merito alla velocità dei fluidi, alla temperatura, alla pressione, al presunto comfort dei visitatori ecc. all'interno di un ambiente o di più ambienti collegati tra loro.

La simulazione "Microflo CFD" è stata effettuata nella stanza del Tribunale d'Amore e nella sala della Croce Centrale, ossia gli ambienti nei quali sono state collocate le sonde durante il monitoraggio e sui quali si concentrano tutte le analisi microclimatiche trattate nel seguente elaborato. Tale simulazione è stata fatta nelle giornate in cui la simulazione Apache ha registrato il massimo e il minimo apporto di calore: 2 Luglio e 29 Dicembre 2016.

Di seguito vengono riportate e commentate le immagini ottenute dalle simulazioni; si è deciso di eseguire le simulazioni in orari in cui la Villa fosse aperta ai visitatori, in modo tale che avesse senso calcolare il PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*¹³⁶) e il PMV (*Predicted Mean Vote*¹³⁷) registrato nelle due stanze. Le simulazioni sono state eseguite dunque, sia per la giornata studiata nel periodo estivo, sia nella giornata di riferimento per il periodo invernale, durante l'orario di apertura, compreso tra le 8.00 e le 18.00.

I risultati ottenuti riguardano i seguenti parametri:

- Velocità dell'aria;
- Temperatura dell'aria;
- PMV (*Predicted Mean Vote*): indice che prevede il valore medio dei voti di sensazione termica espressi da numerose persone esposte alle stesse condizioni ambientali;

¹³⁶ Glossario

¹³⁷ Ibidem

- PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*): indice che prevede la percentuale di insoddisfatti espressa da numerose persone esposte alle stesse condizioni ambientali.

Grazie a questi ultimi due parametri è possibile trarre delle osservazioni e delle conclusioni in merito al comfort dei visitatori di Villa Barbaro. Per ottenere risultati il più verosimili possibile, sono stati definiti alcuni input: sono state definite alcune informazioni riguardo al vestiario ed alle attività svolte a seconda del periodo in analisi.

- Per il periodo estivo è stato considerato un livello di attività di tipo sedentario ($69,8 \text{ W/m}^2$ ¹³⁸) ed un abbigliamento estivo, da cui si ottiene un valore pari a $0,2 \text{ clo}$ ¹³⁹
- Per il periodo invernale è stato considerato un livello di attività anch'esso sedentario ($69,8 \text{ W/m}^2$), ma un abbigliamento pesante, da cui si ottiene un valore pari a $1,2 \text{ clo}$

Le immagini che seguono riportano le informazioni dei rispettivi giorni generate sull'asse x , ad un'altezza di $1,60\text{m}$ dal pavimento; sono stati inoltre realizzati diversi video che analizzano l'andamento dei parametri studiati sull'asse x,y,z .

¹³⁸ Bioritmo metabolico di una persona che svolge un'attività

¹³⁹ Valore calcolato in base al tipo di abbigliamento

1.3.1. Virtual Building 1: stato di fatto

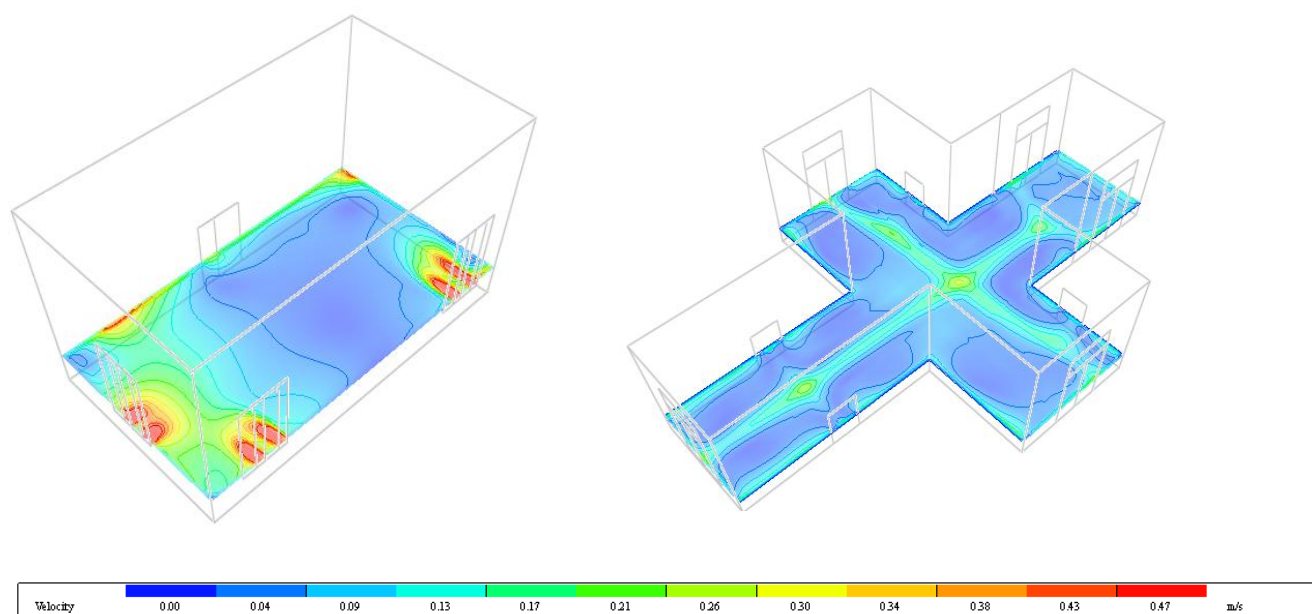


Immagine47_Velocità dell'aria estiva nella sala del Tribunale d'Amore e nella sala a Crociera¹⁴⁰

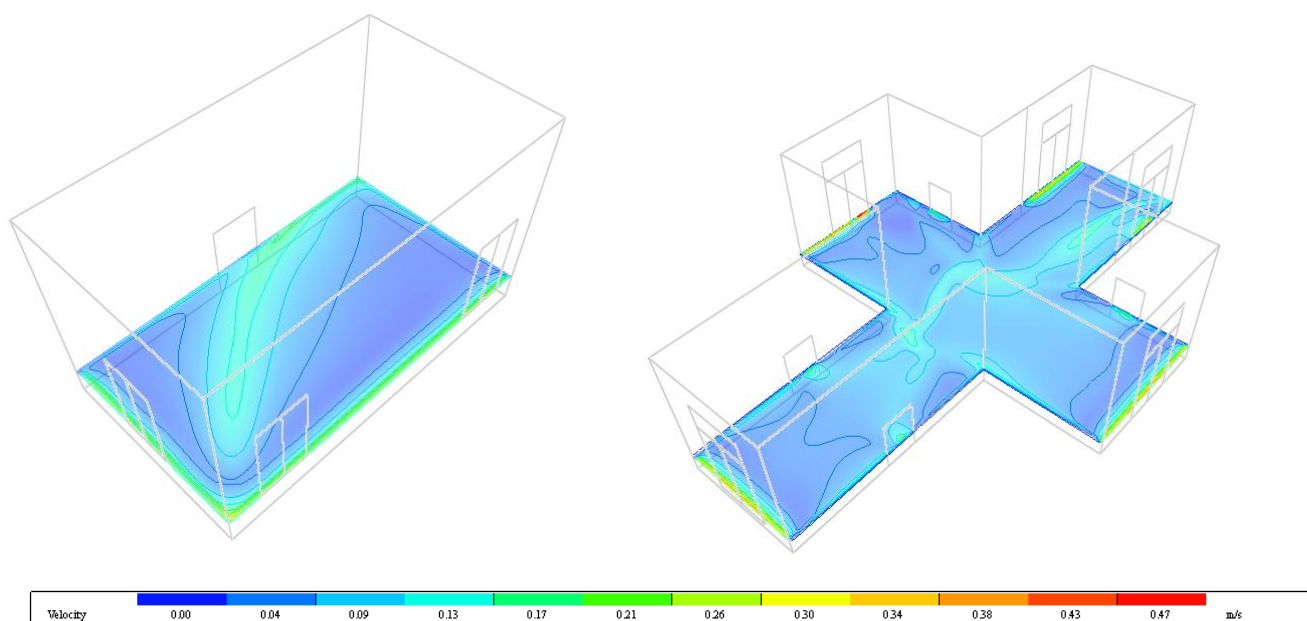


Immagine48_Velocità dell'aria invernale nella sala del Tribunale d'Amore e nella sala a Crociera¹⁴¹

¹⁴⁰ Registro delle immagini

¹⁴¹ Ibidem

Durante il periodo estivo, come si può notare dalle immagini riportate sopra, la velocità dell'aria che entra dalle finestre è risultata essere più elevata nella stanza del Tribunale d'amore, dove raggiunge i 0,47 m/s; nella sala a Crociera l'aria che entra dalle porte finestre che affacciano sull'esterno crea delle correnti interne facilmente visibili, con velocità massime pari a 0,26 m/s. In entrambe le sale nella maggior parte degli spazi la velocità dell'aria è molto bassa: 0,10 m/s al massimo. Vicino alle partizioni interne della stanza del Tribunale d'Amore la velocità è risultata meno elevata rispetto alle zone centrali della stanza: questo è positivo per gli affreschi presenti, perché la maggior velocità dell'aria favorirebbe lo spostamento delle polveri nelle zone limitrofe.

Nel periodo invernale le velocità registrate nei due ambienti presentano dei valori massimi mediamente pari a 0,26 m/s nei pressi dei muri che danno sull'esterno, mentre nel resto della stanza, in entrambi i casi, si hanno velocità massime pari a 0,13 m/s. È evidente come, nella stanza del Tribunale d'Amore, vi sia uno spostamento più rapido dell'aria che proviene dalla porta che affaccia proprio sulla Croce Centrale e, come anche nell'altro ambiente studiato, le aree vicino ai muri che confinano con l'esterno, risultano caratterizzate dalla presenza di un movimento dell'aria più elevato rispetto al resto dell'ambiente. Questo dato è condizionato anche della presenza di due finestre.

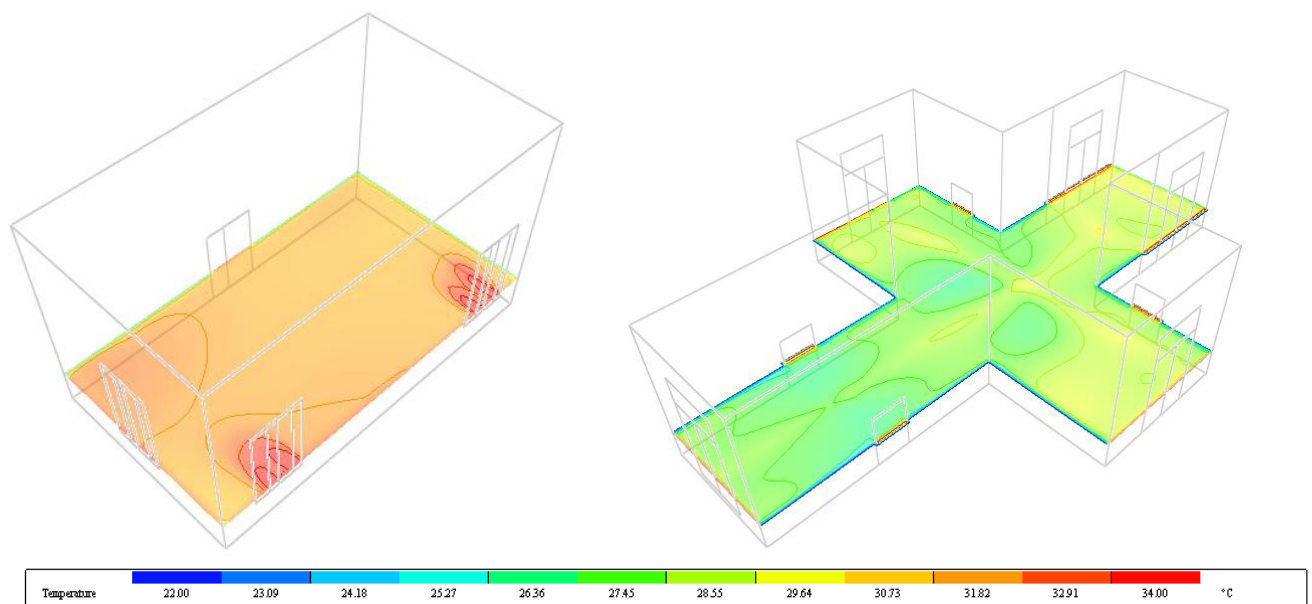


Immagine49_Temperatura dell'aria estiva nella sala del Tribunale d'Amore e Croce Centrale¹⁴²

¹⁴² Ibidem

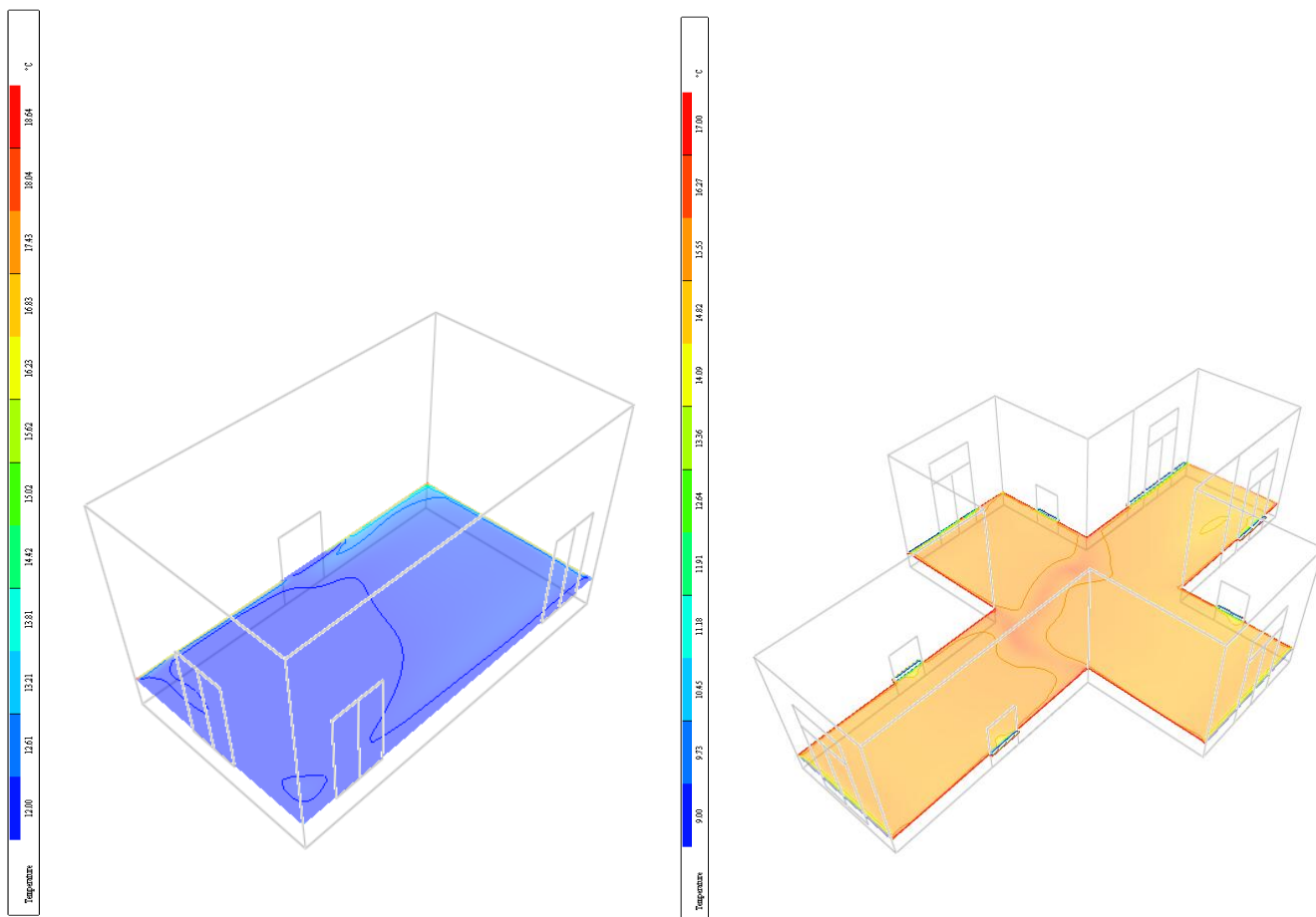


Immagine50_Temperatura dell'aria invernale nella sala del Tribunale d'Amore e nella sala a Crociera¹⁴³

Le simulazioni delle temperature interne ai due ambienti hanno mostrato che, nelle giornate studiate, in estate nella sala del Tribunale d'Amore si registra qualche grado in più rispetto alla sala a Crociera: 30 °C contro i 28-29 °C della Croce centrale. Durante la giornata invernale considerata, ossia il 29 Dicembre 2016, durante l'orario di apertura, nel Tribunale d'Amore si registrano 12 °C e nella Croce Centrale poco più di 14. La differenza estiva è probabilmente motivata dal fatto che la sala a Crociera è più ampia e permette una maggiore dispersione di calore, mentre il dato invernale può essere stato condizionato dal fatto che la simulazione è stata fatta durante le ore più soleggiate della giornata, 13-15, perciò essendoci numerose finestre nella sala a Crociera, questo avrebbe potuto riscaldare leggermente la stanza.

¹⁴³ Ibidem

Nella Croce Centrale pare che le temperature lungo le superfici dei muri adiacenti ad ambienti chiusi siano più favorevoli alla conservazione degli affreschi, rispetto a quelle rilevate nel resto della stanza, in realtà le linee nette di colore che si vedono vicino ai muri sono causati da un errore nella generazione dell'immagine.

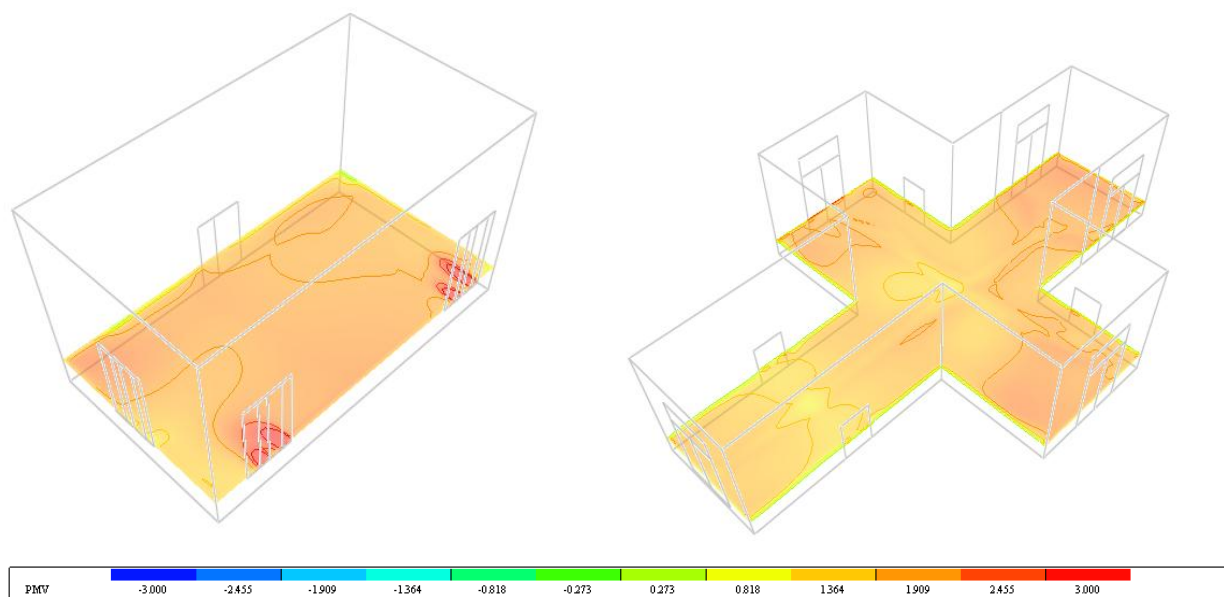


Immagine51_PMV estivo nella sala del Tribunale d'Amore e nella sala a Crociera¹⁴⁴

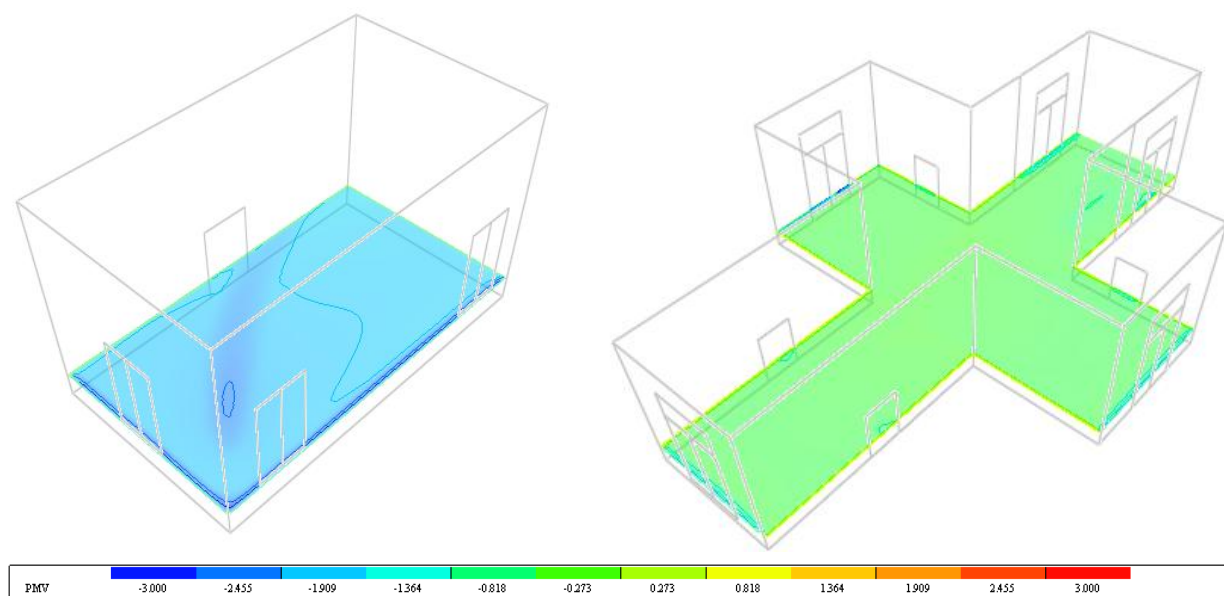


Immagine52_PMV invernale nella sala del Tribunale d'Amore e nella sala a Crociera¹⁴⁵

¹⁴⁴ Ibidem

¹⁴⁵ Ibidem

Il valore medio di sensazione termica, emerso dalle simulazioni, risulta migliore nella sala a Crociera nel periodo invernale ed è simile durante quello estivo: con -3 si indica una sensazione termica di molto freddo, con +3 molto caldo; uno stato di comfort termico si raggiunge per valori di PMV compresi tra -0,5 e +0,5, cui corrisponde una percentuale di insoddisfatti delle condizioni termiche (PPD) inferiore al 10%. In estate in entrambe le sale si registra una sensazione termica di caldo eccessivo, soprattutto vicino alle finestre; a sud ovest ed al centro della sala a Crociera però i valori migliorano leggermente, avvicinandosi allo 0,6 – 0,9. Durante il periodo invernale le pareti esposte della sala del Tribunale d'Amore sono particolarmente fredde e le condizioni termiche risultano migliori nella Croce Centrale con valori medi di 0,9 circa.

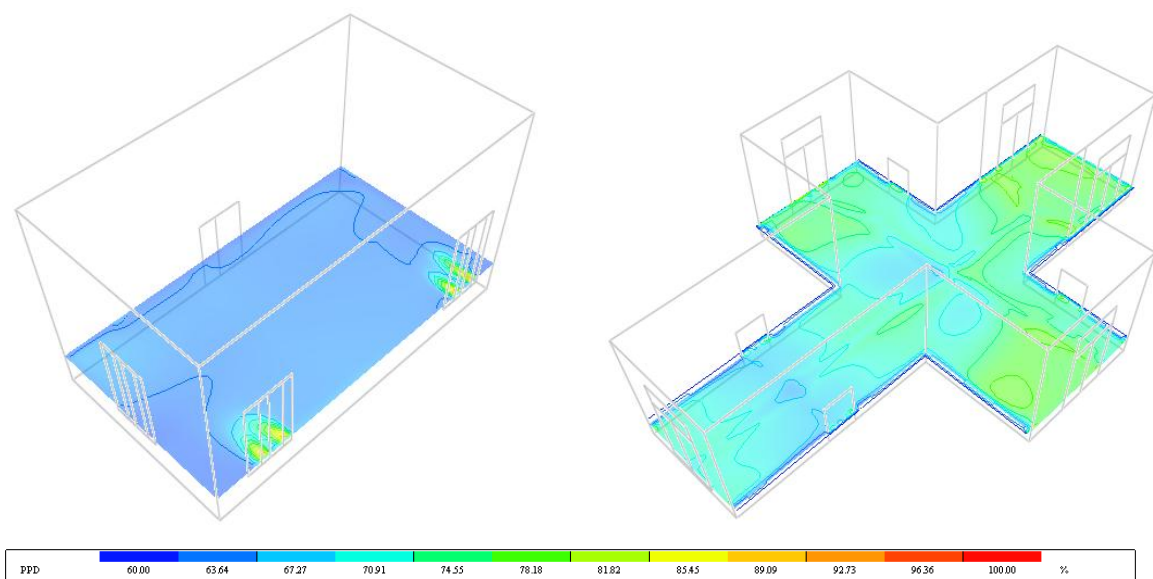


Immagine53_PPD estivo nella sala del Tribunale d'Amore e nella sala a Crociera¹⁴⁶

¹⁴⁶ Ibidem

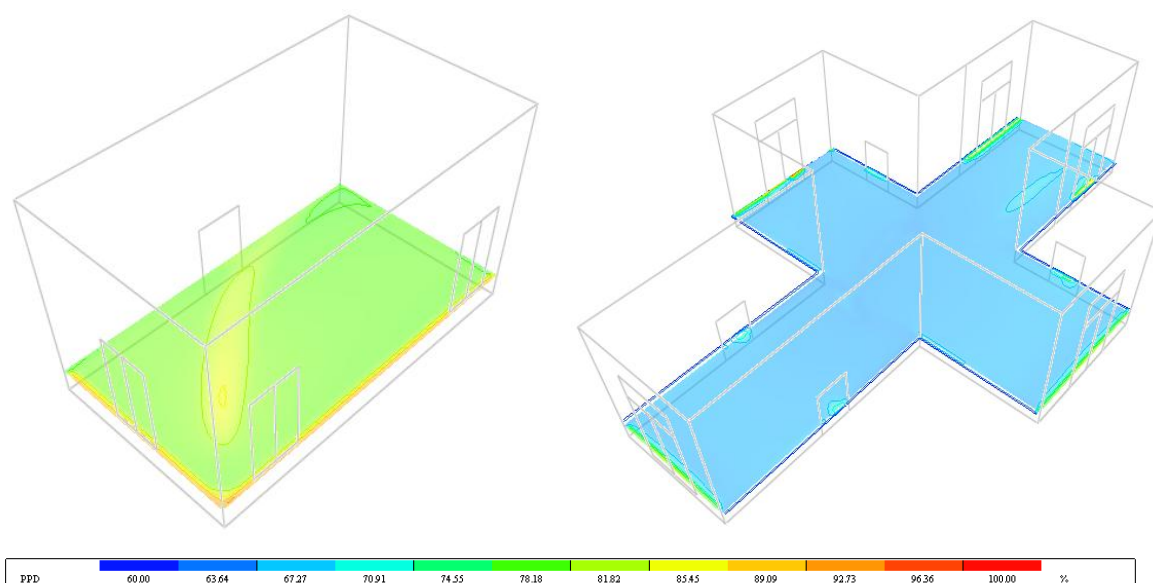


Immagine54_PPD invernale nella sala del Tribunale d'Amore e nella sala a Crociera¹⁴⁷

La percentuale prevista di soggetti termicamente insoddisfatti risulta essere maggiore nella Croce Centrale durante il periodo estivo e più alta invece nel Tribunale d'Amore nel periodo invernale.

In estate nel Tribunale d'amore i valori di insoddisfatti si aggirano attorno al 18% e tale percentuale cresce vicino alle aperture vetrate, dove si registra un'insoddisfazione anche pari al 60%; i valori registrati nella sala a Crociera oscillano tra il 25% ed il 55%.

In inverno invece l'insoddisfazione nel Tribunale d'Amore raggiunge mediamente i 45% e aumenta vicino alle pareti che affacciano sull'esterno, raggiungendo il 72% di soggetti ipoteticamente insoddisfatti dal punto di vista termico. Nella sala a Crociera i valori massimi si registrano nei pressi delle finestre ed oscillano tra il 45% ed il 55%, mentre nel resto della sala il valore medio di insoddisfazione termica registrato risulta pari al 18%.

¹⁴⁷ Ibidem

Capitolo VII

Ipotesi progettuale

1. Il rischio microclimatico

I beni culturali presentano diverse specifiche problematiche inerenti la salvaguardia degli edifici e del loro contenuto, ma anche inerenti alla sicurezza degli occupanti, che possono essere visitatori, proprietari ed addetti. Le due famiglie sono quella che viene solitamente identificata in inglese con *security* e *safety*. Queste problematiche vengono generalmente affrontate ex-post tramite interventi di conservazione, tutela, restauro, sicurezza sul lavoro, ecc.. Materie tra loro anche molto diverse, che vanno perciò affrontate in maniera coordinata ed organica.

Inoltre, quando si considerano edifici dichiarati di interesse storico culturale, come nel caso di Villa Barbaro, a Maser, non modificabili con interventi strutturali ed impiantistici con qualunque grado di invasività, non esistono soluzioni standard valide per ogni caso studio.

L'approccio che si è deciso di adottare in questa tesi si basa su un'analisi del rischio microclimatico, mirata ad una conseguente proposta gestionale dell'edificio che porti all'abbassamento del rischio microclimatico e renda possibile la salvaguardia, prevenzione e contenimento dei processi di degrado dei beni artistici contenuti all'interno della Villa.

Il "Codice dei beni culturali e del paesaggio", emanato nel gennaio 2004, stabilisce all'Articolo 29 (Conservazione):

1. La conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro.
2. Per prevenzione si intende il complesso delle attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto.
3. Per manutenzione si intende il complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo delle condizioni del bene culturale e al mantenimento dell'integrità, dell'efficienza funzionale e dell'identità del bene e delle sue parti.
4. Per restauro si intende l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità materiale ed al recupero del bene medesimo, alla protezione ed alla trasmissione dei suoi valori culturali.

Risulta pertanto fondamentale, successivamente a tali interventi, ma ancora meglio prima e per evitarlo, effettuare il monitoraggio dei fattori e degli agenti negli ambienti interno e/o esterno in cui i manufatti sono collocati.

Ci si riferisce a: temperatura; umidità; illuminamento; qualità dell'aria dal punto di vista chimico e biologico.

La norma italiana UNI 10820, Luglio 1999, prescrive indicazioni e standard di riferimento relativi alle condizioni ambientali ottimali per la conservazione dei beni storici.

La tabella che segue riporta le categorie di beni e i parametri di riferimento, vengono quindi indicati gli specifici valori e i gradienti termoigrometrici (fasce di benessere) corrispondenti alle diverse tipologie chimico-merceologiche dei materiali costituenti i beni culturali:

Materiali costituenti la collezione	T °C	ΔT °C	UR %	ΔUR%
a) materiali / oggetti di natura organica				
Carta, cartapesta, lavori artistici in carta, veline, tappezzeria in carta, collezioni filateliche, manoscritti, papiri, stampe, materiali in cellulosa	18-22	1,5	40-55	6
Tessuti, velari, tendaggi, tappeti, tappezzeria in stoffa, arazzi, seta, costumi, abiti, paramenti religiosi, materiali in fibra naturale, sisal, juta	19-24	1,5	30-50	6
Cere, cere anatomiche	< 18	N.R.	N.R.	N.R.
Erbari e collezioni botaniche	21-23	1,5	45-55	2
Collezioni entomologiche	-24	1,5	40-60	6
Animali e organi anatomici conservati in naftalina	15-25		N.R.	N.R.
Animali e organi anatomici essiccati, mummie	21-23	1,5	20-35	
Pellicce, piume, animali e oggetti impagliati	4-10	1,5	30-50	5
Acquarelli, disegni, pastelli	19-24	1,5	45-60	2
Collezioni etnografiche, maschere, cuoio, indumenti in cuoio	19-24	1,5	45-60	6
Dipinti su tela, pitture a olio su tela e canovaccio, tempere, guazzi	19-24	1,5	40-55	6
Documenti e materiale d'archivio	13-18		-60	
Libri preziosi, libri rilegati in pelle, rilegatura in pelle, pergamena, miniature	19-24	1,5	45-55	6
Lacche, mobili intarsiati, decorati e laccati	19-24	1,5	50-60	2
Sculptore policrome in legno, legno dipinto, pitture su legno, icone, pendole in legno, strumenti musicali in legno	19-24	1,5	50-60	2
Sculpture in legno non dipinte, oggetti in vimini, pannelli in legno o corteccia	19-24	1,5	45-60	2
b) materiali / oggetti di natura inorganica				
Porcellane, ceramiche, gres, terracotta, tegole non da scavo e da scavo demineralizzate	N.R.		N.R.	10
Pietre, rocce, minerali, meteoriti (porosi) stabili	19-24		40-60	6
Mosaici di pietre, pietre, rocce, minerali, meteoriti (non porosi), fossili e collezioni di pietre	15-25		20-60	10
Metalli, metalli levigati, leghe metalliche, argenti, armature, armi, bronzi, monete, oggetti in rame, stagno, ferro, acciaio, piombo, peltri	N.R.		< 50	
Metalli con siti di corrosione attivi	N.R.		< 40	
Ori	N.R.		N.R.	
Gesso	21-23	1,5	45-55	2
Vetri instabili, iridescenti, sensibili, mosaici di vetro sensibili	20-24	1,5	40-45	

c) oggetti misti				
Pitture murali, affreschi, sinopie (staccate)	10-24		55-65	
Pitture murali: a secco (staccate)	10-24		50-65	
Avori, nidi, uova, corna, collezioni malacologiche, coralli	19-24	1,5	40-60	6
Dischi fonografici	10-21		40-55	2
Fibre sintetiche	19-24		40-60	
Film, fotografie a colori	0-15		30-45	
Film, fotografie in bianco e nero	0-15		30-45	
Nastri magnetici (esclusi nastri per computer e videotape)	5-15		40-60	
Oggetti di materiali organici provenienti da zone di scavo umide (prima del trattamento)	19-24		In aria satura	
Materie plastiche	19-24		30-50	
N.R. = non rilevante				

Questa seconda tabella, riporta la “Suddivisione dei beni confinati in base alle categorie di fotosensibilità” (Ministero per i Beni e le Attività Culturali, D. M. 25.7.2000):

Categoria fotosensibilità	Beni confinati	Illuminamento massimo (lux)
1 Molto bassa	Reperti e manufatti relativamente insensibili alla luce: metalli, materiali lapidei e stucchi senza strato di finitura, ceramiche, gioielleria, smalti, vetri, vetrare policrome, reperti fossili.	Superiore a 300 ma con limitazioni sugli effetti termici in particolare per stucchi, smalti, vetrare e fossili.
2 Media	Reperti e manufatti moderatamente sensibili alla luce: pitture ad olio ed a tempera verniciate, affreschi – materiali organici non compresi nei gruppi 3 e 4 quali quelli in corno, osso, avorio, legno	150
3 Alta	Reperti e manufatti altamente sensibili alla luce Tessili, costumi, arazzi, tappeti, tappezzeria; acquerelli, pastelli, stampe, libri, cuoio tinto; pitture e tempere non verniciate, pittura a guazzo, pitture realizzate con tecniche miste o “moderne” con materiali instabili, disegni a pennarello; piume, pelli e reperti botanici, materiali etnografici e di storia naturale di origine organica o tinti con prodotti vegetali; carta, pergamena, legni bagnati	50
4 Molto alta	Reperti e manufatti estremamente sensibili alla luce: mummie; sete, inchiostri, coloranti e pigmenti a maggior rischio di scoloritura come lacche, ecc.	50

Tenendo conto dei dati sopra riportati sono state elaborate alcune analisi utilizzando i valori di Umidità Relativa (%), Temperatura (°C) registrati dalle sonde Henesis durante i 6 mesi di monitoraggio di Villa Barbaro. Viene calcolato il rischio microclimatico al quale sono esposti gli affreschi della Villa: si considera quindi un Range ottimale di Umidità Relativa compreso tra il 20% ed il 60%; i valori di riferimento per quanto riguarda la Temperatura vanno dai 15°C ai 25°C: si ipotizza un *range* ottimale con riferimento alla categoria “materiali/oggetti di natura inorganica”, come mosaici di pietre, pietre, rocce, minerali, meteoriti (non porosi), fossili e collezioni di pietre. Non si è fatto riferimento alle pitture murali riportate nella categoria “oggetti misti”, poiché

viene specificato che si tratta di elementi *staccati*, mentre nel presente caso studio gli affreschi sono realizzati direttamente sui muri interni alla Villa.

Il rischio microclimatico, RMC, è stato calcolato secondo il seguente metodo e ragionamento: è stata effettuata una stima del RMC, calcolando sul programma Excel la quantità di ore durante le quali, rispettivamente, l'umidità relativa e la temperatura dell'aria, risultano essere al di fuori dei sopracitati range, considerati ottimali per la conservazione degli affreschi; la sommatoria delle ore durante le quali gli affreschi sono sottoposti a rischio microclimatico, è stata divisa per le ore totali corrispondenti al periodo di monitoraggio, il risultato ottenuto è stato poi riportato in percentuale, ed esso rappresenta la percentuale di rischio microclimatico al quale sono stati esposti gli affreschi nell'arco dei sei mesi di monitoraggio microclimatico.

Matematicamente si ipotizza che questo calcolo potrebbe essere così impostato:

$$RM = rmh/h \text{ [%]}$$

“*rmh*” è il rischio microclimatico orario: $rmh = RH_i > R_{set} + RH_i < R_{set}$

“*h*” sono invece le ore totali su cui viene calcolato il rischio microclimatico

1.1. Umidità relativa

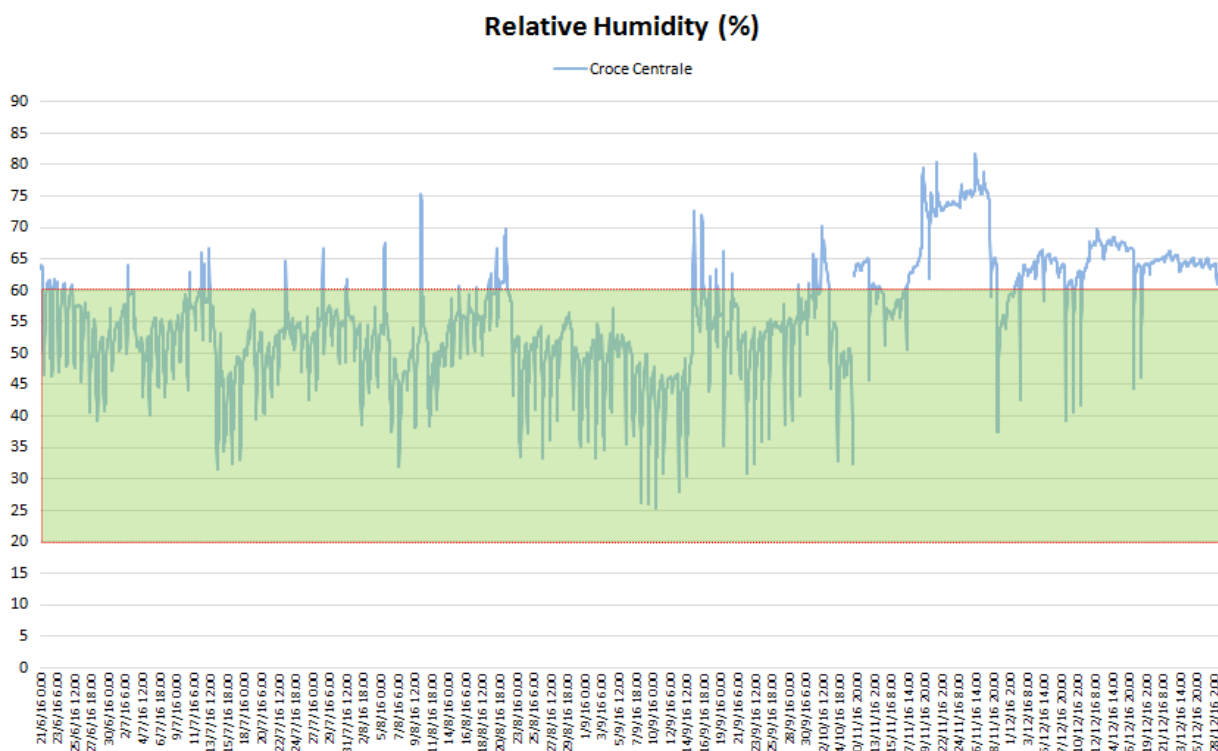


Immagine55_Range umidità relativa nella sala a Crociera¹⁴⁸

¹⁴⁸ Ibidem

Come risulta chiaro dal grafico soprastante, relativo alla sala della Croce Centrale, l'umidità relativa rilevata dalle sonde termoigrometriche durante il monitoraggio microclimatico, rientra nei range ottimali stimati dalla normativa italiana dal mese di Giugno a Novembre, ad esclusione di qualche picco giornaliero. Durante i mesi di Novembre e Dicembre, invece, la situazione si inverte: l'umidità supera il 60% per tutta la durata dei due mesi, eccetto alcuni cali giornalieri, durante i quali si arriva infatti a misurare un valore di umidità relativa pari al 40%. In particolare, nelle giornate che vanno dal 22 al 27 Novembre, l'umidità relativa è piuttosto elevata, arrivando anche a percentuali pari all'80%.

Secondo la modalità di calcolo specificata sopra, è stato stimato un *rischio microclimatico* relativo all'umidità rilevata nella sala della Croce Centrale, pari al 32,31%.

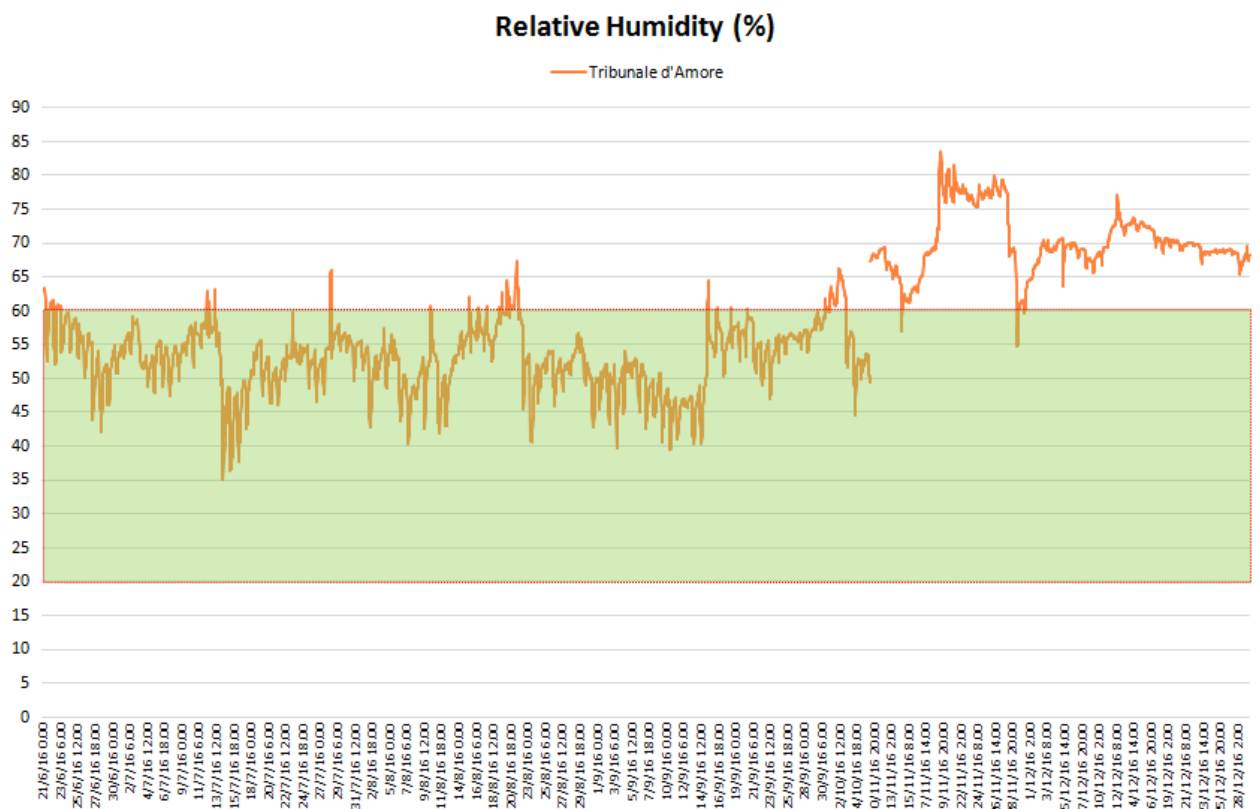


Immagine56_Range umidità relativa nel Tribunale d'amore¹⁴⁹

¹⁴⁹ Ibidem

Nella stanza del Tribunale d'Amore la situazione è risultata mediamente analoga a quella rilevata nella Croce Centrale. I picchi giornalieri al di fuori dei *range* durante i mesi di Giugno, Luglio, Agosto, Settembre e Ottobre, risultano però essere meno frequentemente rispetto a quelli registrati nell'altra sala, mentre la situazione è risultata peggiore nei mesi di Novembre e Dicembre: i valori di umidità relativa sono per quasi la totalità del periodo al di sopra del range ritenuto ottimale per la conservazione degli affreschi.

Il calcolo del *rischio microclimatico* è stato stimato per un valore pari al 33,78 %, leggermente superiore a quello calcolato per la sala della Croce Centrale.

1.2. Temperatura dell'aria

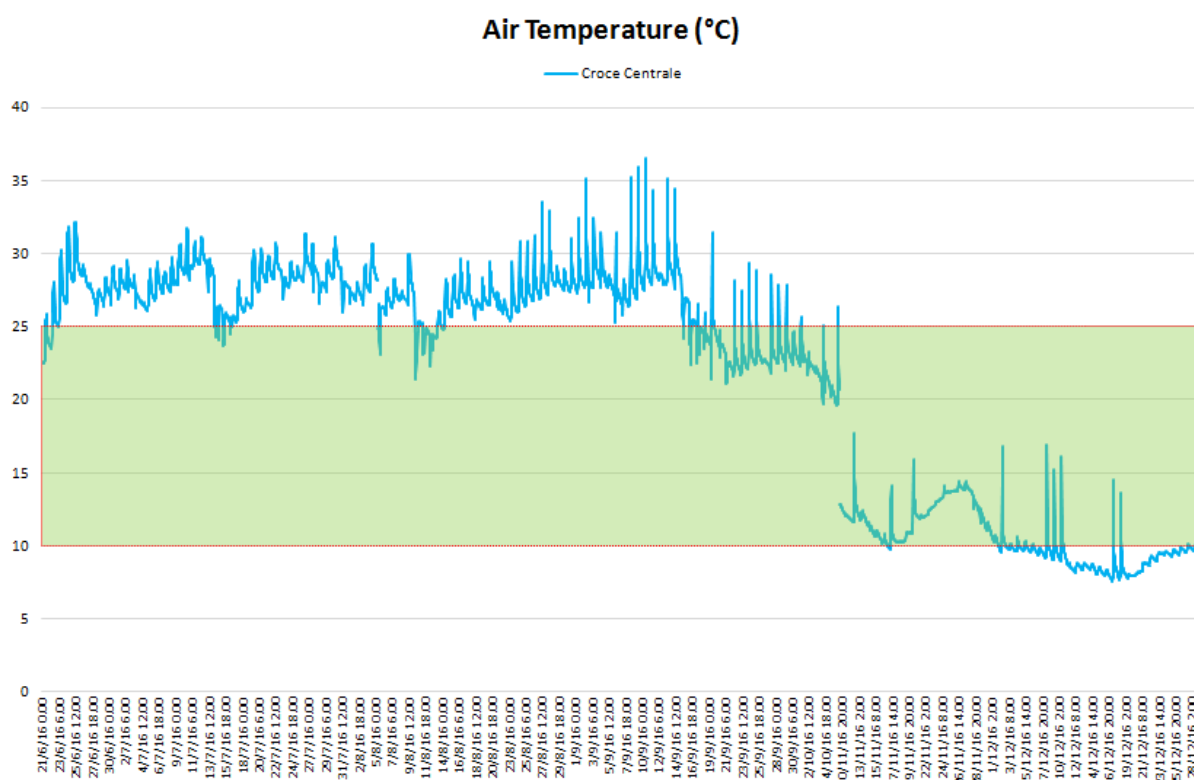


Immagine57_Range Temperatura nella Croce Centrale¹⁵⁰

Studiando il grafico della temperatura dell'aria relativo ai dati rilevati all'interno della Croce centrale, risulta evidente che la condizione di *rischio microclimatico* sia elevata: gli unici valori che rientrano nei range consigliati sono quelli registrati dalla seconda

¹⁵⁰ Ibidem

metà del mese di Settembre ai primi giorni di Dicembre. Da Giugno a Settembre, ad esclusione di qualche caso sporadico, come la giornata del 21 Giugno e dall'11 al 14 Agosto, le temperature interne superano costantemente i 25 °C. In Dicembre la temperatura dell'aria rilevata è regolarmente inferiore ai 10 °C, eccetto alcuni picchi giornalieri registrati durante le giornate che vanno dal 3 all'11 Dicembre, dal 17 al 19 e dal 25 al 29 Dicembre.

Il *rischio microclimatico* calcolato risulta pari all'86,91%.

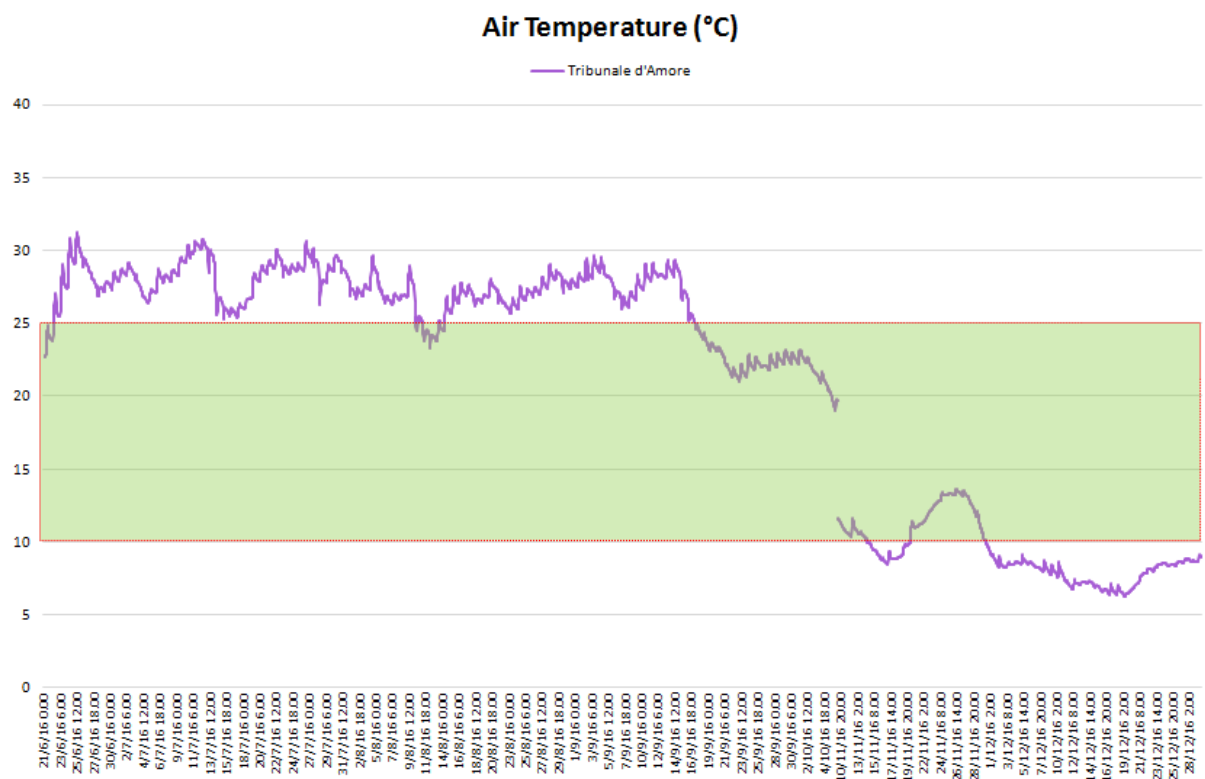


Immagine58_Range Temperatura nel Tribunale d'amore¹⁵¹

Anche nel caso della stanza del Tribunale d'Amore, i valori di temperatura dell'aria rilevati risultano essere mediamente superiori ai 25 °C durante il periodo che va da fine Giugno a metà Settembre, dunque non rientrano nei range considerati, mentre sono compresi in essi nel periodo che va da metà Settembre a fine Novembre e sono invece al di sotto dei 10 °C durante Dicembre, uscendo così anche in questo caso dai valori di riferimento.

¹⁵¹ Ibidem

È stato calcolato un *rischio microclimatico* dell'84,38%: molto superiore rispetto alla percentuale di rischio stimata per l'umidità relativa nei due ambienti studiati.

1.3. Il caso della Pinacoteca di Brera

Si riporta un esempio di un caso reale, per chiarificare quali rischi possono provocare le variazioni di parametri come temperatura dell'aria ed umidità relativa ai beni culturali.

All'interno della Pinacoteca di Brera, a Milano, il 7 gennaio 2017 è stato registrato un repentino abbassamento del livello dell'umidità all'interno delle sale del museo: il clima freddo e molto secco, ha creato problemi all'impianto di condizionamento di Brera, mettendo a *rischio* la conservazione dei beni artistici che vi sono conservati. Fortunatamente, nonostante il sistema HVAC non abbia funzionato correttamente, il sistema di monitoraggio collegato a quello di allarme ha permesso che l'amministrazione di Brera di agire prontamente avvertita e che potesse dunque provvedere tempestivamente a mettere in sicurezza le opere. Il giorno 9 gennaio 2017, infatti, sono stati noleggiati cinque umidificatori, in modo tale da alzare la percentuale di umidità relativa all'interno della Pinacoteca.

Inoltre, i due dipinti più a rischio, ossia il *Cristo alla colonna* di Bramante¹⁵² e *le Storie di San Gerolamo* di Lazzaro Bastiani¹⁵³, mostrano sollevamenti importanti e sono stati dunque spostati nei laboratori di restauro; mentre altri dipinti sono stati velinati immediatamente e non hanno riportato nessuna perdita di colore. Questi ultimi risultano essere circa una quarantina. “*Le veline resteranno sui dipinti il tempo necessario, fin quando si saranno recuperati gli idonei valori termo igrometrici, le tavole si saranno stabilizzate e sarà possibile procedere col fissaggio dei sollevamenti.*”¹⁵⁴.

La tecnica della velinatura viene utilizzata per mantenere aerente ed impedire il distacco delle parti pittoriche; per fare ciò vengono utilizzati adesivi naturali o sintetici: si

¹⁵² Dipinto a tempera o olio su tavola, databile al 1480-1490 circa e conservato nella Pinacoteca di Brera di Milano.

¹⁵³ Tempera su tavola, del 1485 circa, conservato nella Pinacoteca di Brera, Milano.

¹⁵⁴ Comunicato stampa 17/01/2017, Pinacoteca di Brera - Biblioteca nazionale braidense - Ministero dei beni e delle attività culturali del turismo.

applicano fogli di carta resistente, permeabile e particolarmente sottile, appunto la carta velina o giapponese, o carta riso; sottili garze di cotone o teli di tessuto-non tessuto, col fine di proteggere la superficie dipinta da possibili danni ed eventualmente consentire l'esecuzione di altri interventi di restauro. In tal caso la velina viene interposta tra la superficie da proteggere ed i materiali che dovranno esservi applicati, cui resine, , ecc..

Di seguito viene riportata una fotografia che mostra come si presenta un dipinto sottoposto ad un intervento di velinatura.

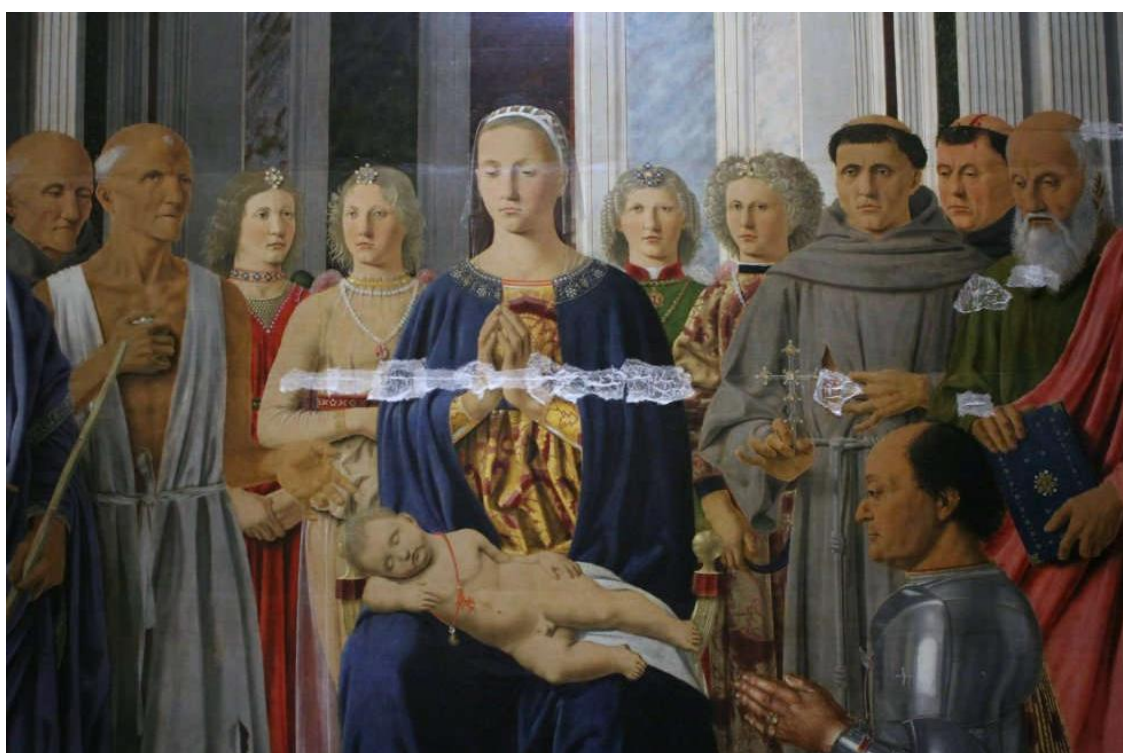


Immagine 59_ La Pala di Brera¹⁵⁵

Il più famoso dei quadri velinati in seguito alla vicenda della Pinacoteca di Brera è infatti *La Pala di Brera, o Pala Montefeltro*, di Piero della Francesca. La sua realizzazione è riconducibile al 1472 circa ed è stato realizzato con tempera e olio su tavola.

¹⁵⁵ Registro delle immagini

2. Proposta progettuale

In seguito all'analisi dei dati restituiti sopra, in merito allo stato attuale di Villa Barbaro e consapevoli degli effetti che può comportare il *rischio microclimatico*, si propone una gestione delle temperature interne controllata tramite l'utilizzo degli impianti di climatizzazione.

Al piano nobile della Villa sono presenti dei radiatori, attualmente inattivi, mentre non vi sono impianti di raffrescamento. Nella presente proposta progettuale è stato quindi ipotizzato di accendere i radiatori o di sostituirli direttamente con dei ventilconvettori, in modo tale da poter apportare calore durante il periodo invernale e rinfrescare gli ambienti lungo il periodo estivo.

L'ipotesi è stata indirizzata unicamente sulla stabilizzazione della temperatura dell'aria e non alla correzione dei livelli di umidità relativa, poiché si è voluto riportare un esempio di come si potrebbe intervenire sul parametro che dall'analisi del *rischio microclimatico* è risultato essere più "pericoloso" per la conservazione degli affreschi.

Si ipotizzano infatti quattro livelli di rischio:

VALORE	ENTITÀ DEL RISCHIO
$\leq 25\%$	<i>DEBOLE</i>
$\leq 50\%$	<i>MODERATO</i>
$\leq 75\%$	<i>MARCATO</i>
$\leq 100\%$	<i>ESTEREMO</i>

Il rischio microclimatico dovuto all'umidità relativa rilevato per entrambe le sale, corrisponde ad un rischio "debole", con percentuali che si aggirano attorno al 30%, mentre quello dovuto alla temperatura, superando in entrambi gli ambienti l'80%, rientra nel rischio definito sopra come "estremo".

2.1. Risultati

I benefici emersi dalle simulazioni effettuate, considerando l'ipotetica accensione degli impianti, sono molteplici: vengono restituiti infatti grafici che mostrano l'andamento della temperatura dell'aria durante i sei mesi del monitoraggio, ottenuti inserendo sul programma gli input necessari per indicare la presenza e l'attività degli impianti di climatizzazione (i *set-point* che sono stati definiti sul software IES.VE per la simulazione Apache e per la simulazione fluidodinamica CFD, sono rispettivamente 18°C per il riscaldamento e 24°C per il raffreddamento); immagini che riportano la velocità dell'aria, la sua temperatura e dalle quali si può definire il livello di comfort dei visitatori durante una giornata estiva particolarmente calda, il 2 Luglio ed una giornata invernale particolarmente fredda, ossia il 29 Dicembre.

2.1.1. Temperatura dell'aria

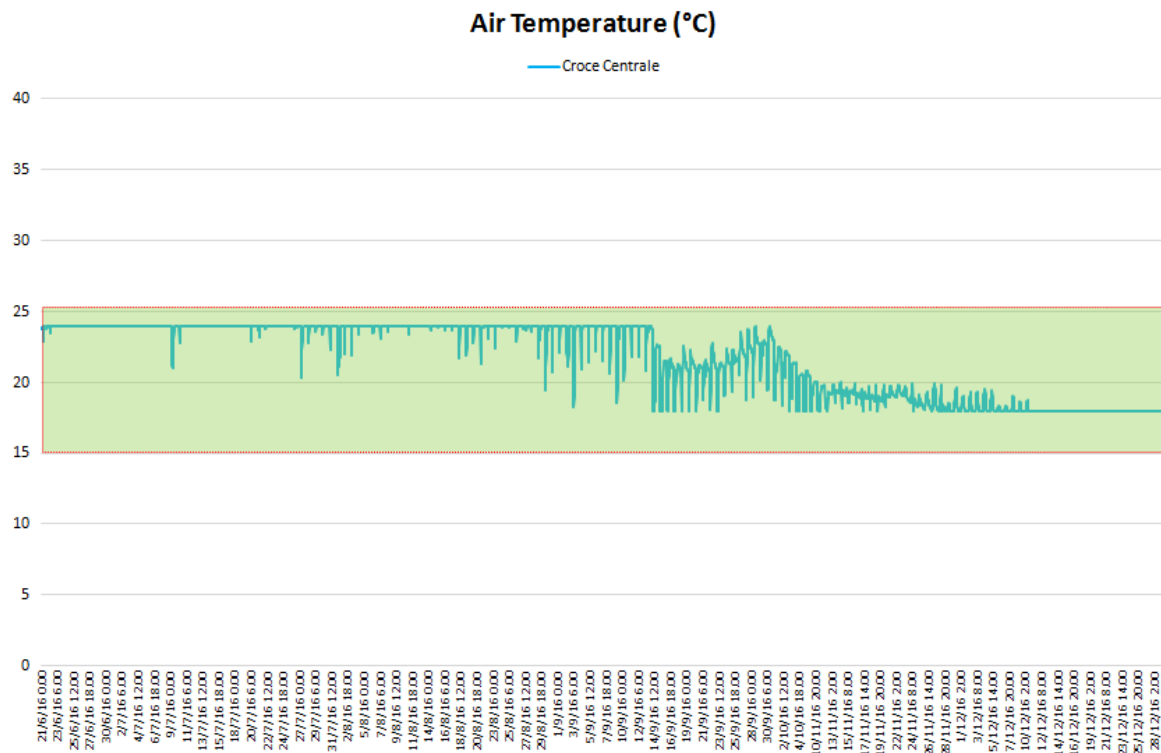


Immagine60_Range Temperatura nella Croce Centrale¹⁵⁶

¹⁵⁶ Ibidem

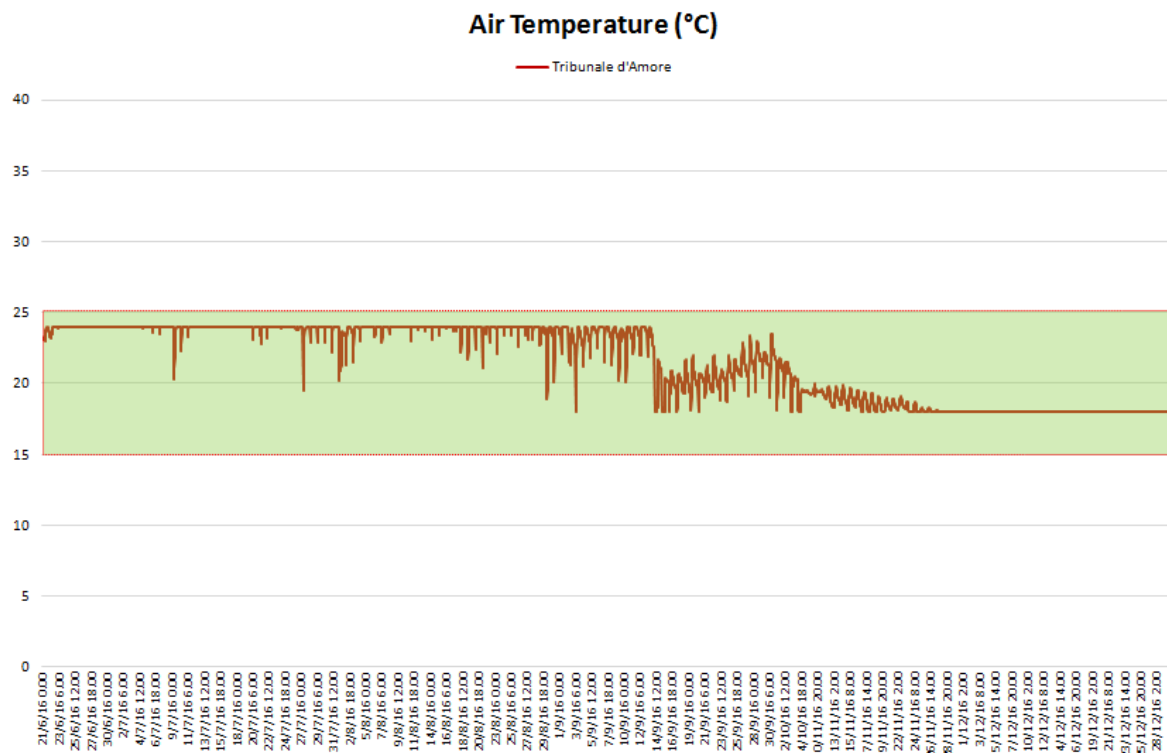


Immagine61_Range Temperatura nel Tribunale d'amore¹⁵⁷

La temperatura dell'aria registrata dalla simulazione, come si può vedere dai grafici riportati sopra, rientra nei range consigliati dalla normativa italiana per la conservazione degli affreschi.

Gli *input* che sono stati dati al programma di simulazione dinamica IES.VE hanno permesso dunque di fissare una temperatura massima interna pari e non superiore ai 24°C d una temperatura minima che non scenda al di sotto dei 18°C.

Si riporta un esempio che mostra l'andamento interno di un mese tipicamente caldo, Agosto, e di un mese piuttosto freddo: Settembre.

¹⁵⁷ Ibidem

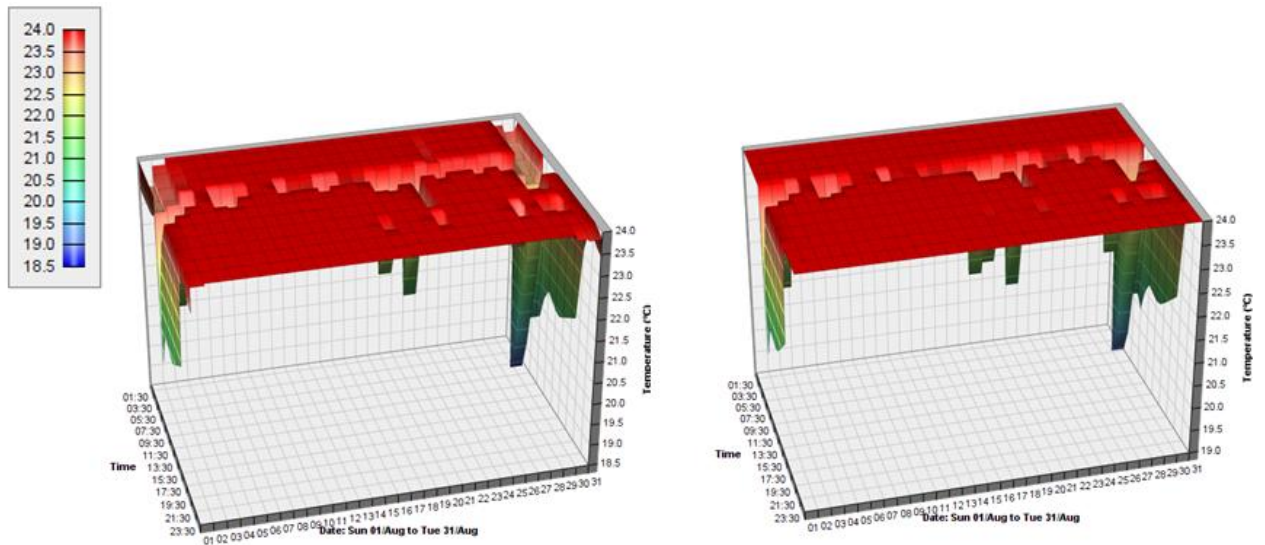


Immagine62_Input Temperatura estiva IES.VE¹⁵⁸

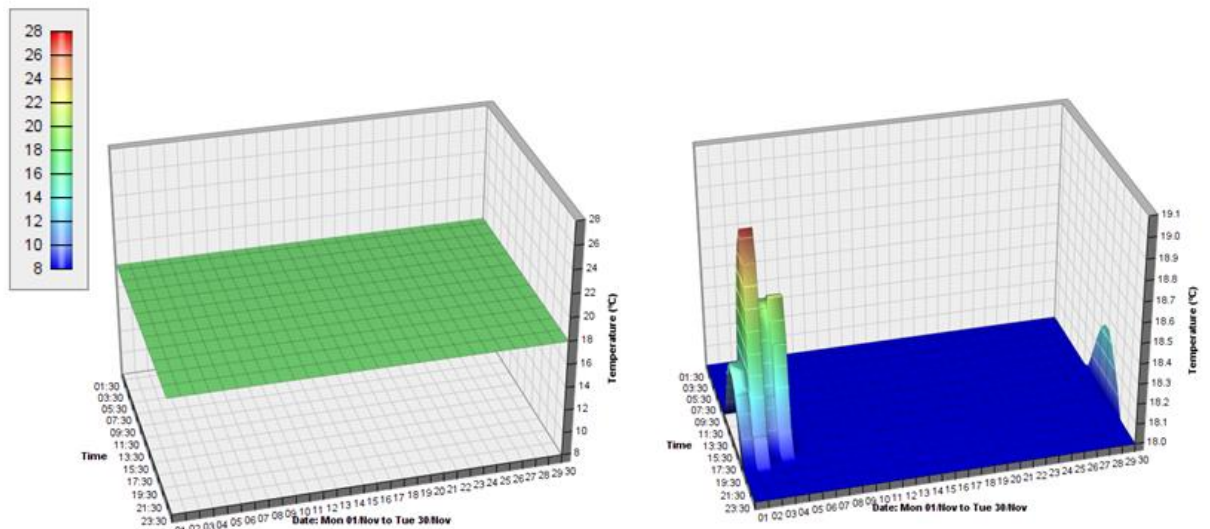


Immagine63_Input Temperatura invernale IES.VE¹⁵⁹

Come risulta evidente le temperature sono state stabilizzate tra i 18°C ed i 24°C. Durante tutto il mese di Novembre nella stanza del Tribunale d'Amore la temperatura dell'aria sarebbe inferiore ai 18°C, per questo non si vedono picchi o sbalzi giornalieri, ma una temperatura costante pari a 18°C, condizionata dall'impianto di riscaldamento che si è ipotizzato di attivare.

¹⁵⁸ Ibidem

¹⁵⁹ Ibidem

2.1.2 Virtual Building 2: ipotesi progettuale

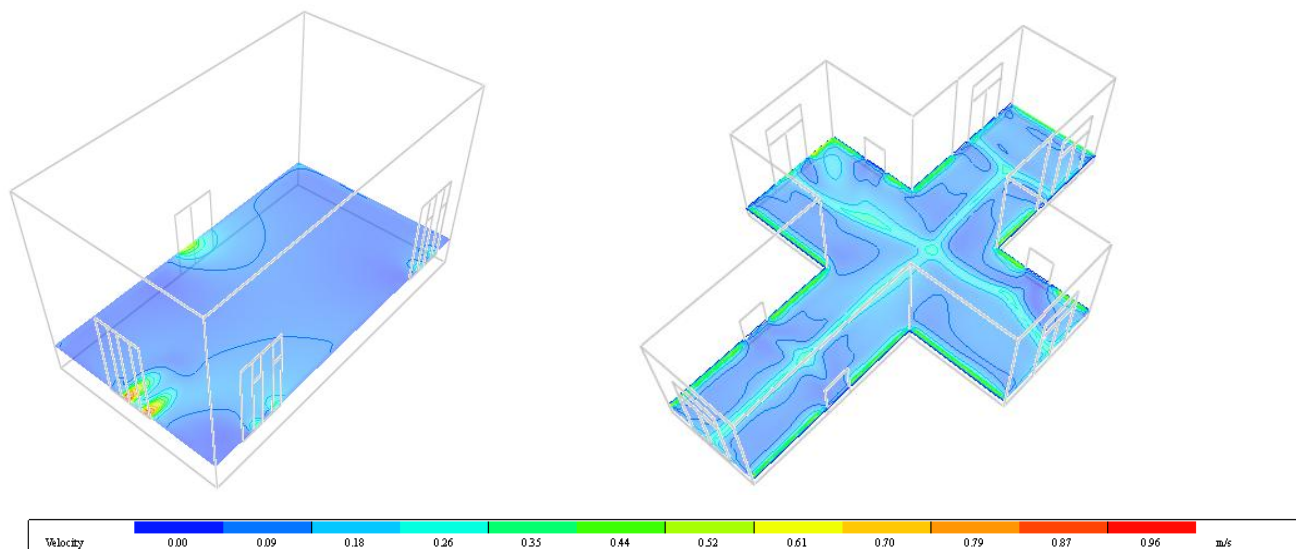


Immagine64_Velocità dell'aria estiva nel Tribunale d'amore e nella Croce Centrale¹⁶⁰

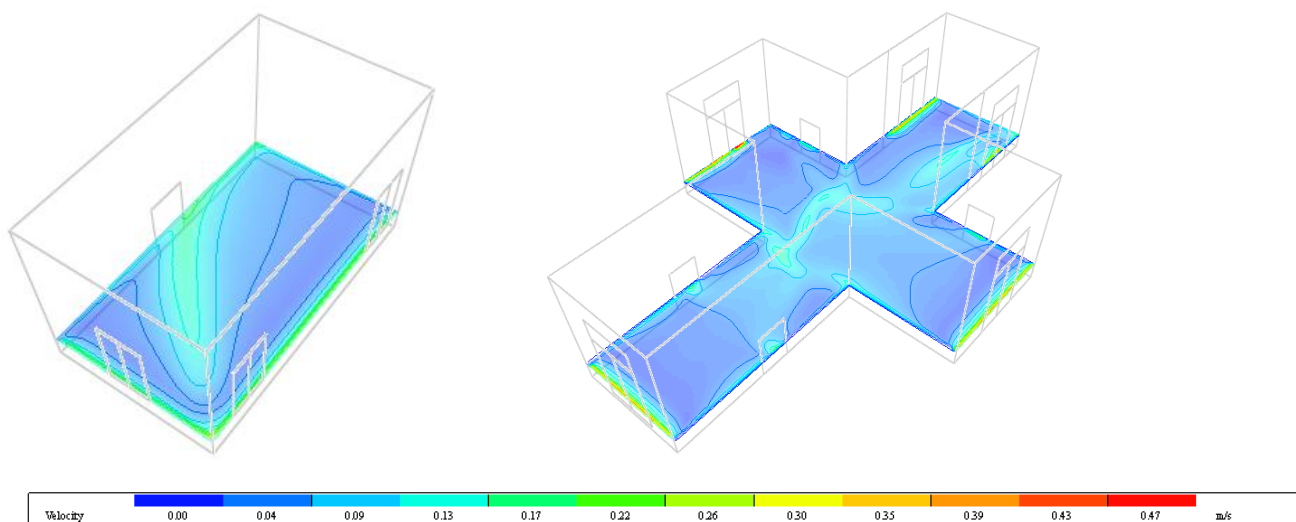


Immagine65_Velocità dell'aria invernale nel Tribunale d'amore e nella Croce Centrale¹⁶¹

La velocità dell'aria misurata da IES.VE, nell'ipotesi di attivazione degli impianti di condizionamento, risulta essere leggermente superiore a quella calcolata nel modello riferito allo stato di fatto: nel *Virtual Building* dello stato di fatto in estate le velocità massime, rilevati nei pressi delle aperture raggiungevano i 0,47m/s, in questo modello ipotetico vengono raggiunti anche i 0,52 e gli 0,87 m/s. Nel periodo invernale la velocità dell'aria calcolata è comunque inferiore rispetto al periodo

¹⁶⁰ Ibidem

¹⁶¹ Ibidem

estivo, poiché le finestre sono state considerate chiuse: il modello dello stato di fatto registrava velocità massime dell'aria pari a 0,21m/s circa e nel modello soprastante si raggiungono al massimo i 0,26-0,30m/s.

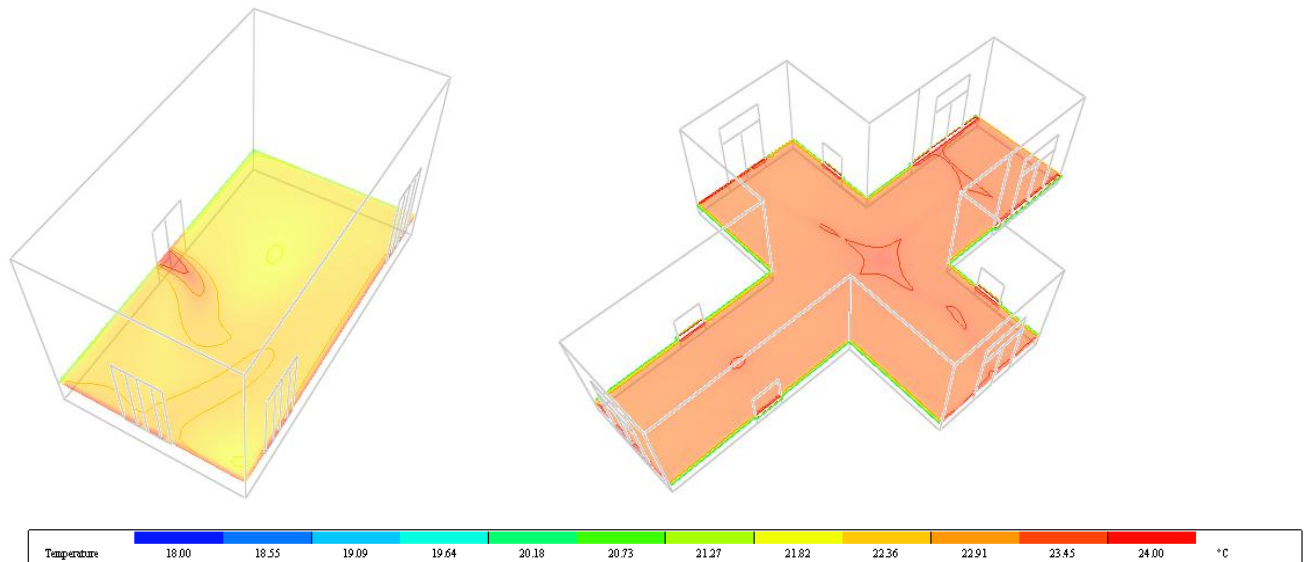


Immagine66_Temperatura dell'aria estiva nel Tribunale d'amore e nella Croce Centrale¹⁶²

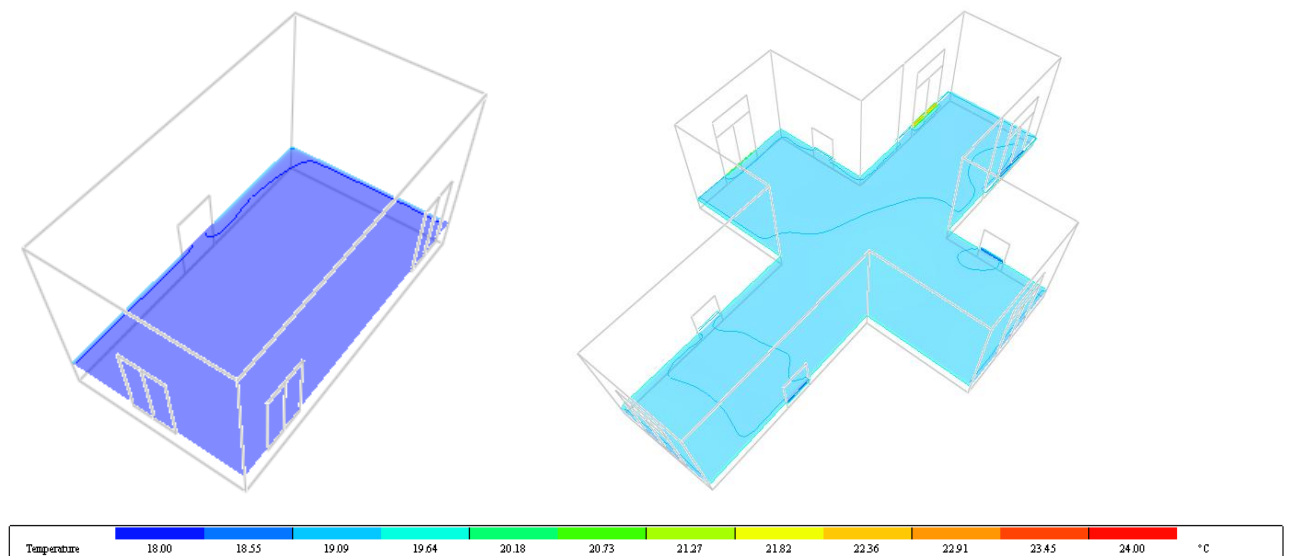


Immagine67_Temperatura dell'aria invernale nel Tribunale d'amore e nella Croce Centrale¹⁶³

Le temperature interne non raggiungono più i 30°C in estate, né i 12-14°C in inverno, e si mantengono tra un minimo di 18°C durante il periodo invernale ed un massimo di 24°C durante il periodo estivo: temperatura ottimale sia per gli affreschi conservati in Villa, sia per il comfort termico dei visitatori.

¹⁶² Ibidem

¹⁶³ Ibidem

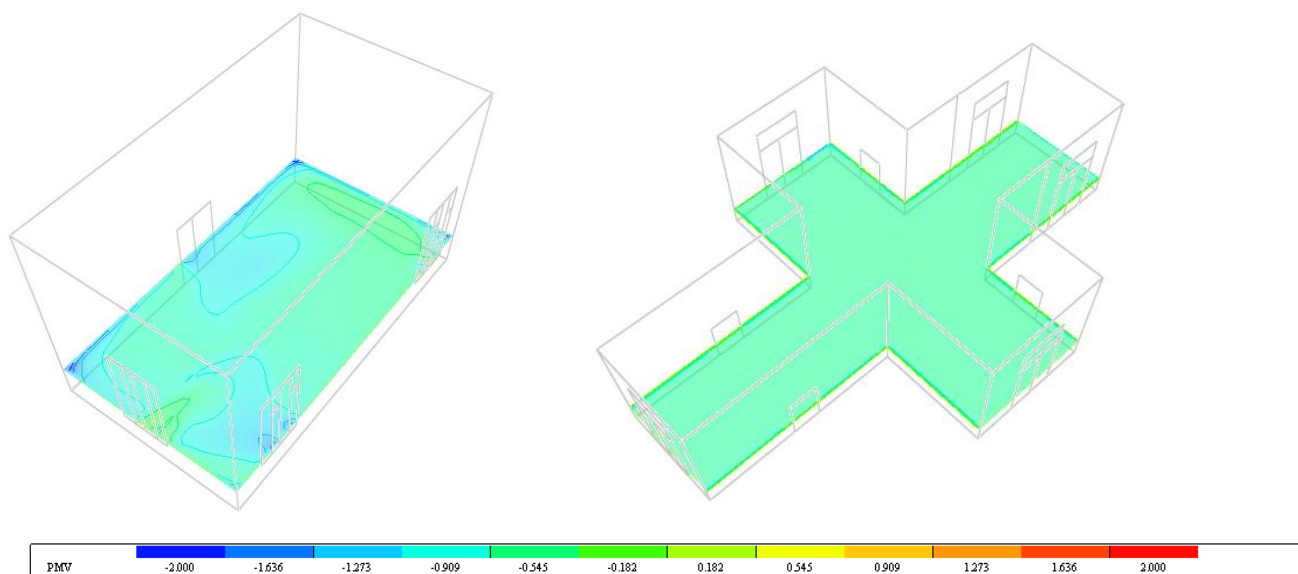


Immagine68_PMV estivo nel Tribunale d'amore e nella Croce Centrale¹⁶⁴

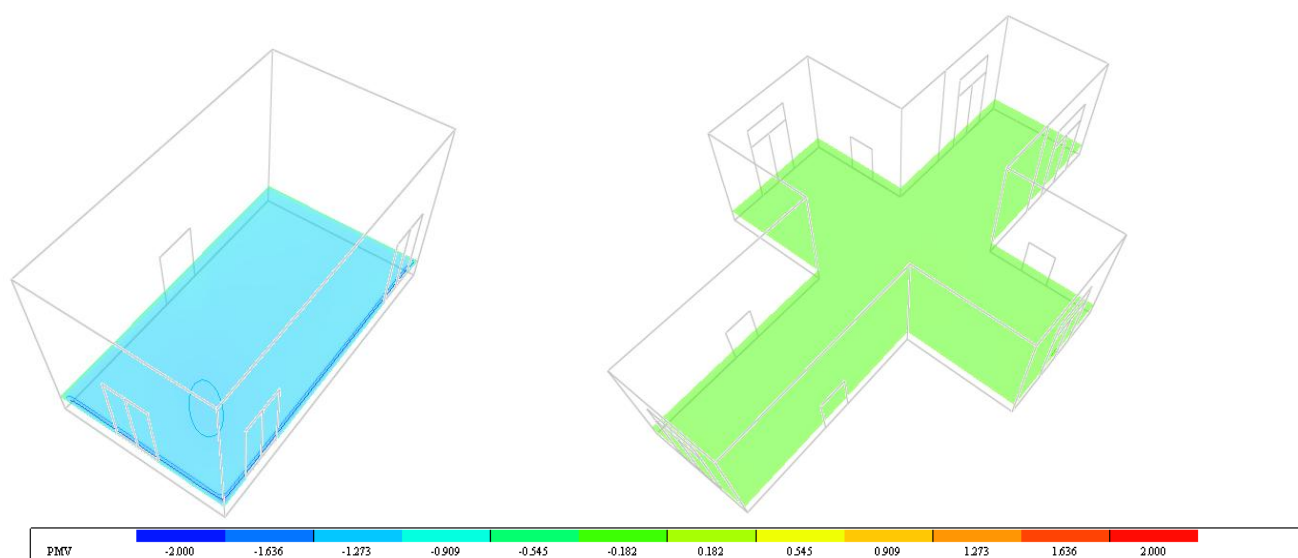


Immagine69_PMV invernale nel Tribunale d'amore e nella Croce Centrale¹⁶⁵

Come spiegato al capitolo VI, per quanto riguarda il valore medio di sensazione termica (PMV), con -3 si indica una sensazione termica di molto freddo, con +3 di molto caldo; uno stato di comfort termico si raggiunge per valori di PMV compresi tra -0,5 e +0,5, cui corrisponde una percentuale di insoddisfatti delle condizioni termiche (PPD) inferiore al 10%. Le immagini derivanti dalle simulazioni CFD dell'ipotesi progettuale, riportano un PMV estivo della stanza del Tribunale d'Amore che varia dal -0,9 al 0,5 in tutto l'ambiente, registrando valori pari a -1,6 circa vicino all'apertura della porta e di

¹⁶⁴ Ibidem

¹⁶⁵ Ibidem

una delle tre finestre. Il PMV invernale di questa sala è pari al -0,9 e si registra una sensazione termica di freddo vicina al -2 lungo i muri che danno sull'esterno. I valori registrati nella sala a Crociera sono rispettivamente pari a -0,5 nel periodo estivo e 0,1 durante il periodo invernale.

I dati restituiti mostrano quindi un forte miglioramento del comfort termico in entrambe le sale: i risultati derivanti dalle simulazioni dello stato di fatto riportavano un PMV estivo vicino al +3 ed un PMV di quasi -2 durante il periodo invernale in entrambi gli ambienti. Tale dato di aumento del comfort termico è stato confermato dal calcolo della presunta percentuale di persone insoddisfatte dalla sensazione termica (PPD), i cui dati sono presentati di seguito.

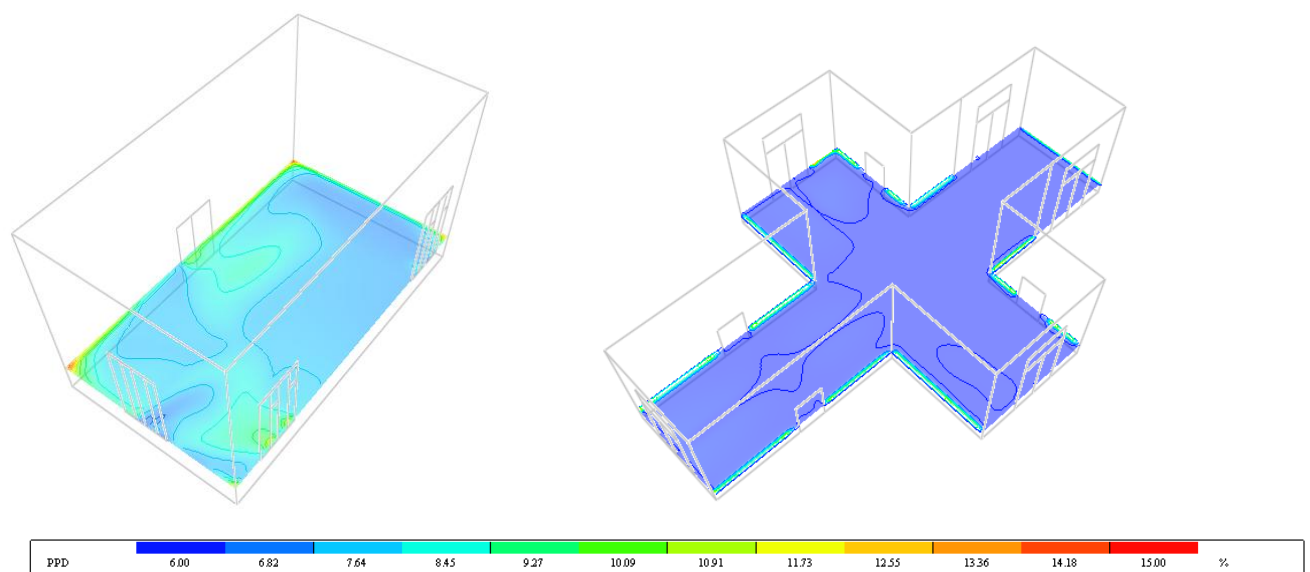


Immagine70_PPD estivo nel Tribunale d'amore e nella Croce Centrale¹⁶⁶

¹⁶⁶ Ibidem

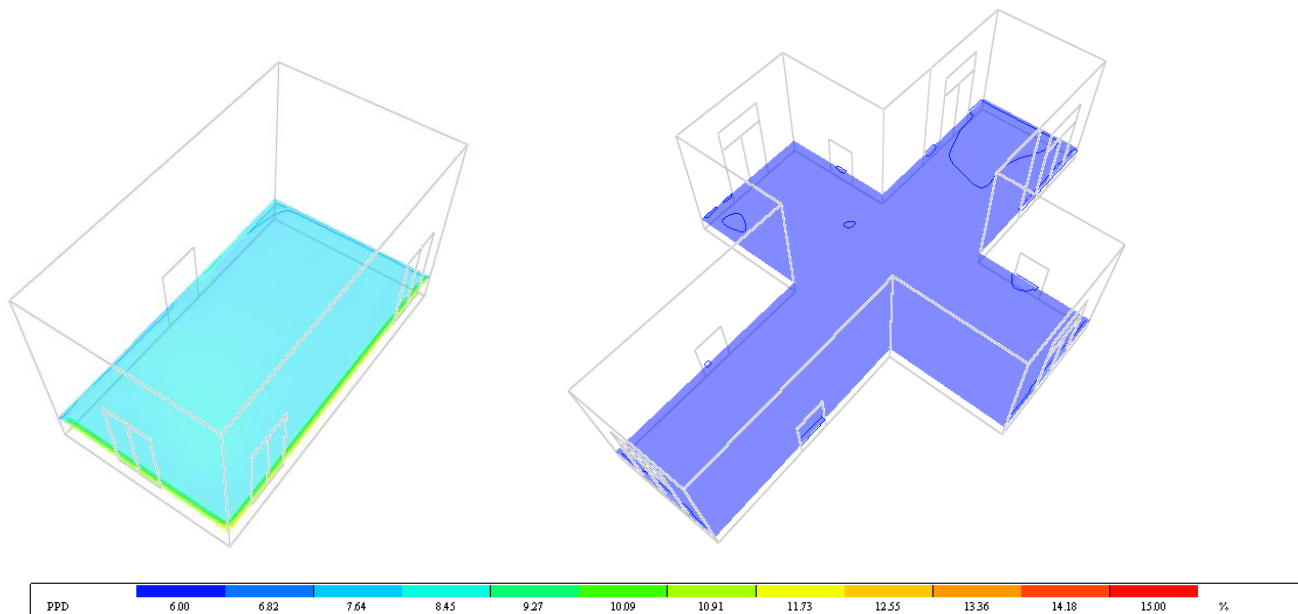


Immagine71_PPD invernale nel Tribunale d'amore e nella Croce Centrale¹⁶⁷

Il calcolo dell'andamento della presunta percentuale di persone insoddisfatte della sensazione termica (PPD) risulta drasticamente diminuito in entrambi gli ambienti: non si registrano più percentuali di insoddisfazione vicine al 100%. Nelle giornate considerate, infatti è stato misurato un PPD omogeneo pari al 6% nella Croce Centrale ed un valore medio pari all'8,4% nel Tribunale d'Amore, con un aumento di tale dato vicino alle partizioni interne, dove si registra un 10% di PPD. I dati invernali rimangono invariati per la Croce Centrale e, nel Tribunale d'Amore, il 10% di PPD viene rilevato non più lungo le partizioni interne ma lungo i muri che danno sull'esterno della Villa.

¹⁶⁷ Ibidem

2.1.3 Confronto diretto Air Temperature e PPD

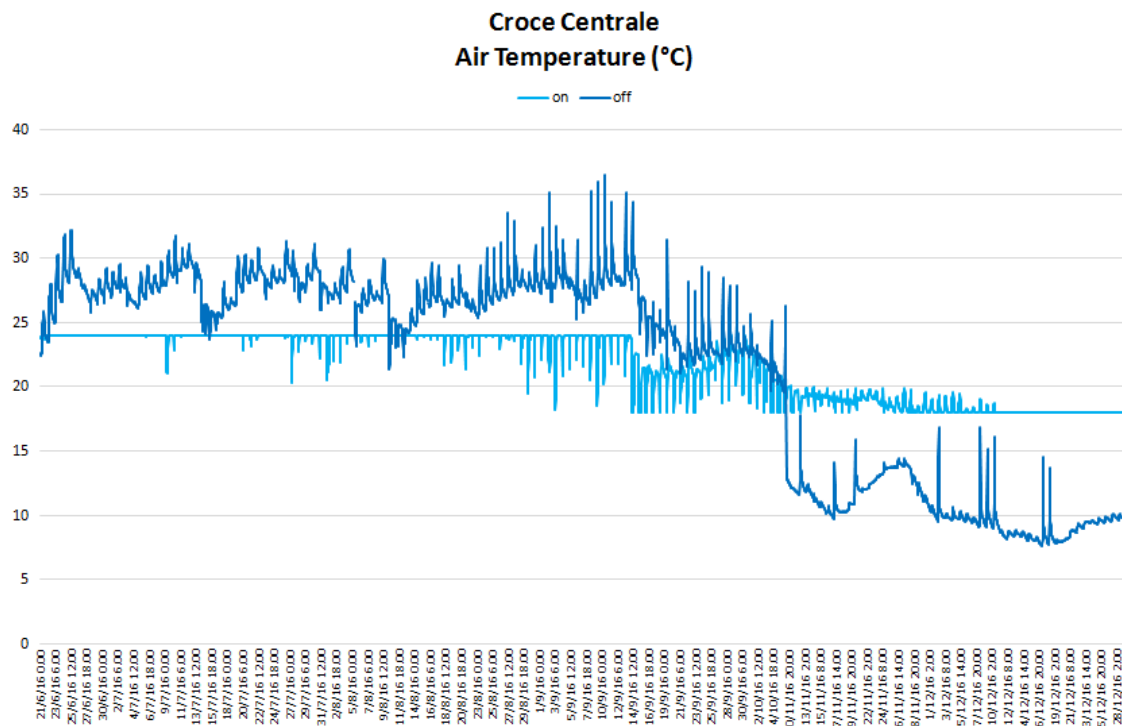


Immagine72_ Confronto temperatura impianti on-off nella Croce Centrale¹⁶⁸

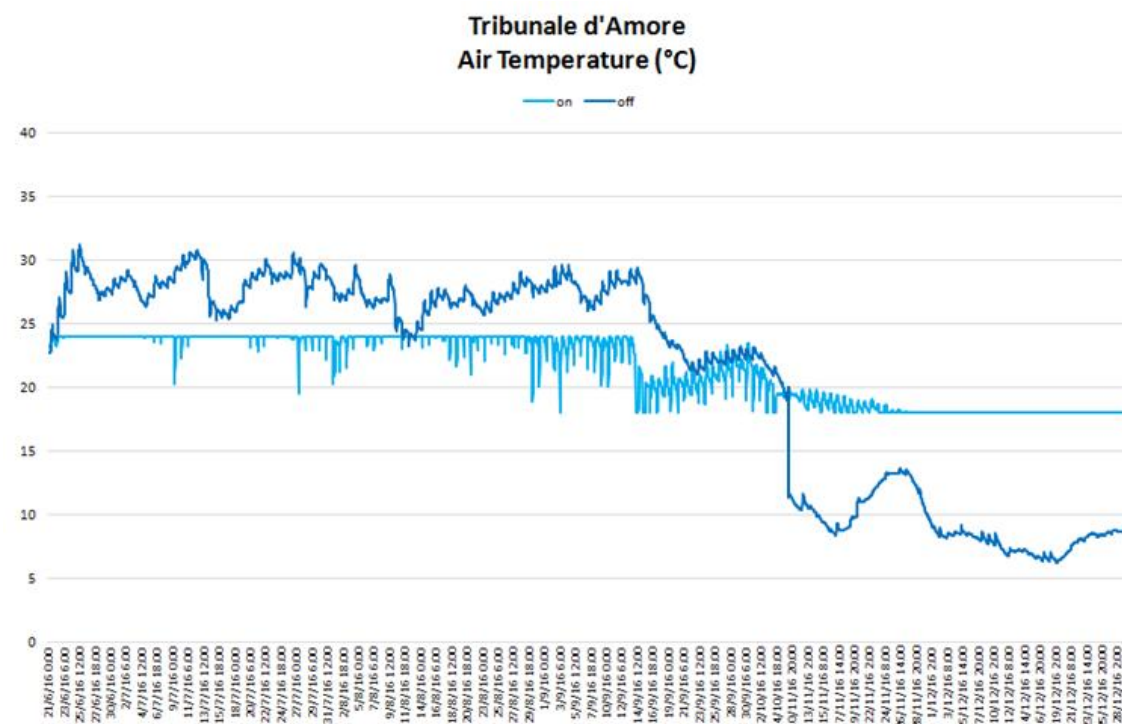
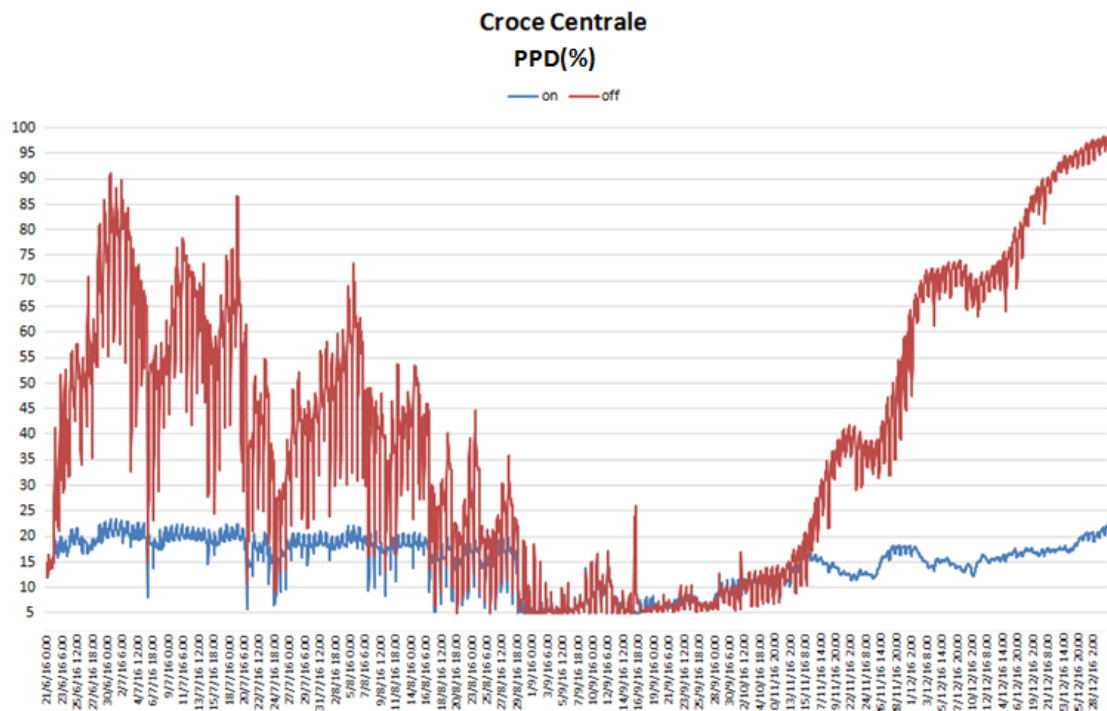


Immagine73_ Confronto temperatura impianti on-off nel Tribunale d'amore¹⁶⁹

¹⁶⁸ Ibidem

¹⁶⁹ Ibidem

Dai grafici soprastanti risulta evidente, già da una prima analisi, come, nel caso dell'ipotesi progettuale, le temperature interne dei due ambienti studiati rientrino nei Range consigliati dalla normativa italiana per la conservazione degli affreschi. Dal grafico che riporta i dati della temperatura dell'aria interni alla sala a Crociera emerge che, nell'arco dei sei mesi di riferimento (21 Giugno 2016 - 29 Dicembre 2016), le temperature registrate dalle sonde, dunque con gli impianti di riscaldamento e raffrescamento inattivi, coincidono con quelle relative all'ipotesi di accensione degli impianti solamente dalla seconda metà di Settembre ad inizio Ottobre; fenomeno che si ripropone anche nella sala del Tribunale d'Amore da fine Settembre a inizio Ottobre.



Immagine_75 Confronto PPD impianti on-off nella Croce Centrale¹⁷⁰

¹⁷⁰ Ibidem

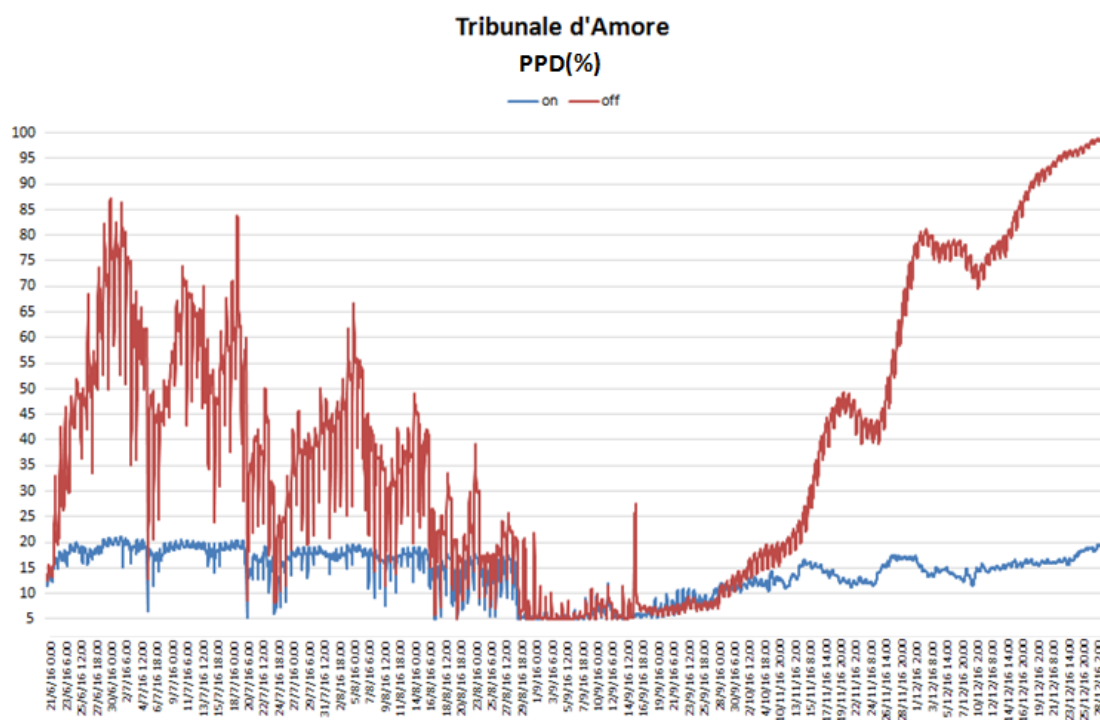


Immagine76_ Confronto PPD impianti on-off nel Tribunale d'amore¹⁷¹

I grafici soprastanti confermano quanto visto dalle immagini delle simulazioni CFD, presenti al paragrafo 2.1.2 del capitolo corrente ed al capitolo VI, ossia un sensibile aumento del comfort termico dovuto all'accensione degli impianti di condizionamento. I grafici riportano, in questo caso, l'andamento non più giornaliero ma semestrale della percentuale di persone insoddisfatte dalle condizioni termiche interne, rispettivamente, alla Croce Centrale ed al Tribunale d'Amore. Ne emerge che, gli unici mesi in cui si registra una coincidenza dei valori registrati va da metà Agosto fino a metà Novembre nella sala a Crociera e da metà Agosto fino alla fine di Settembre nel Tribunale d'Amore.

¹⁷¹ Ibidem

Capitolo VIII

Discussione, conclusioni e prospettive

1. Alcune considerazioni sui dati del monitoraggio

Le analisi e gli studi effettuati a Villa Barbaro nella stanza del Tribunale d'Amore e nella sala a Crociera, o Croce Centrale, hanno permesso di rilevare le condizioni di illuminamento, temperatura, umidità relativa e CO₂, registrate nell'arco di sei mesi: dal 21 Giugno 2016 al 29 Dicembre 2016.

Grazie ai dati ottenuti è stato possibile ottenere tramite il programma di simulazione dinamica IES.VE, l'andamento termo e fluido dinamico interno a questi spazi, verificando quali siano le giornate con maggiore e minore apporto di calore, analizzando lo spostamento delle polveri dovuto al movimento ed alla velocità dell'aria ed è stato inoltre possibile stabilire i livelli medi di comfort dei visitatori che hanno accesso a queste stanze sia nel periodo estivo, sia in quello invernale.

Inoltre, studiando le condizioni dello stato attuale del manufatto, è stata proposta una metodologia di calcolo per ottenere una stima del *rischio microclimatico* al quale sono sottoposti i numerosi affreschi che caratterizzano la Villa.

I risultati hanno mostrato come il parametro della temperatura sia fortemente al di fuori dei range consigliati dalla normativa italiana per la conservazione degli affreschi. In seguito all'ottenimento di tali dati si è quindi proceduto con l'ipotesi progettuale, prevedendo nel programma di simulazione l'utilizzo di impianti di condizionamento e riscaldamento, fissando tra i diversi gli *input* richiesti che la temperatura potesse raggiungere un massimo di 24 °C ed un minimo di 19 °C.

È emerso che l'attuazione della proposta, permetterebbe dunque sia una corretta conservazione degli affreschi, che un maggiore comfort per i visitatori.

2. Conclusioni

Sulla base di quanto emerso, si propone una gestione del piano nobile della Villa caratterizzata dall'utilizzo dei sistemi di condizionamento e riscaldamento, in modo tale

da mantenere una temperatura interna adeguata alla conservazione degli affreschi presenti. Il controllo della temperatura interna porterebbe inoltre ad un conseguente miglioramento dei livelli di umidità relativa interni.

Nel caso studio presentato in questa tesi si è voluta dare più importanza ai beni custoditi nella villa, rispetto al comfort dei visitatori, nonostante si sia comunque ottenuto un risultato che permette di trovare un giusto equilibrio ed un miglioramento sotto entrambi gli aspetti. Il comfort dei visitatori è stato ritenuto secondario poiché la durata delle visite è abbastanza contenuta: circa un'ora. È stato comunque ottenuto un buon compromesso tra diverse esigenze.

Il fatto che sia stato possibile formulare un'ipotesi di intervento, che ha comportato un cambiamento microclimatico importante all'interno della Villa, conferma uno dei punti di forza del metodo proposto nel presente elaborato: è possibile constatare gli effetti di un intervento mirato (apertura/chiusura delle finestre, attivazione di impianti, ecc.) sul bene in esame, senza comportare rischi di danneggiamento al bene stesso ed evitando anche rischi finanziari, senza quindi investire in soluzioni il cui risultato non è certo.

Inoltre, essendo la Villa soggetta a vincoli di tutela, non è consentito apportare modifiche importanti rispetto allo stato attuale. Per questo motivo si considera che l'ipotesi progettuale proposta, non comportando modifiche consistenti (non si prevedono schermature, né modifiche architettoniche, ecc.), potrebbe essere effettivamente presa in considerazione ed adottata.

Come è stato ribadito più volte nel presente elaborato, il *controllo del microclima* è un aspetto di fondamentale importanza per la conservazione dei beni storici e artistici, tanto più se tali beni sono sensibili alle variazioni termoigrometriche. Le deformazioni dovute a determinati livelli di umidità e temperatura, che accelerano il livello di deterioramento dei beni, tendono ad essere reversibili nei materiali moderni, come, ad esempio, la plastica; ma risultano irreversibili nei materiali antichi.

Inoltre, se un bene, come Villa Barbaro, è stato sottoposto per lunghi periodi a determinate condizioni di umidità relativa e temperatura (in questo caso anche secoli), le tensioni interne che si sono create nel corso del tempo potrebbero reagire negativamente a repentini cambiamenti microclimatici: il manufatto antico, conservato in uno specifico microclima per lungo tempo, potrebbe rischiare di venire compromesso.

Sono noti, infatti, diversi “*casi sorprendenti in cui opere d'arte sono sopravvissute per millenni in particolari condizioni termoigrometricamente stabili, come ad esempio nel sottosuolo o immerse nell'acqua, anche se non teoricamente ideali per il materiale di cui sono costituite. Una volta scoperte e portate in superficie in condizioni improvvisamente diverse, queste hanno subito un irreversibile degrado. Un esempio è costituito dalle tavolette egizie, costituite da materiali altamente sensibili alle variazioni termoigrometriche, come ad esempio l'arenaria, che sono sopravvissute in ottimo stato di conservazione per millenni in terreni molto secchi. Queste tavolette, una volta portate alla luce ed esposte in ambienti museali non idonei alla loro conservazione o trasferite in regioni climatiche totalmente diverse, si sono progressivamente deteriorate in modo irreversibile a causa delle ampie variazioni termoigrometriche*”¹⁷².

Per queste ragioni la decisione di intervenire nella struttura con la realizzazione o comunque tramite l'attivazione di impianti HVAC non è sicuramente facile: la previsione, in termini di utilità, del funzionamento di tali impianti, è semplice se si mira ad un aumento del benessere umano, ma è più complessa se si vogliono valutare gli effetti dell'impianto sulla conservazione delle opere d'arte. È quindi risultato fondamentale studiare l'ambiente in cui si trova il bene, sia per quanto riguarda la struttura architettonica che per quanto riguarda gli aspetti della climatologia locale, compreso lo studio dei diversi cicli stagionali e giornalieri.

¹⁷² G. Lutti, Pubblicazione di la SIB (Società Italiana Biotecnologie) sul sito: http://www.biodeterioramento.it/bio_site2/public_site/Analisi.asp

3. Possibili sviluppi

Si ritiene che gli studi su Villa Barbaro potrebbero proseguire in primo luogo stabilizzando anche l'umidità relativa interna alle sale aperte al pubblico; sarebbe inoltre interessante procedere con un monitoraggio microclimatico interno anche nel resto dell'edificio, per poter valutare l'impatto dei fattori ambientali, naturali ed artificiali che agiscono congiuntamente sulla Villa e dunque incidono sulla conservazione di un bene che fa parte del Patrimonio Culturale dell'umanità.

Inoltre, si ritiene interessante la possibilità di verificare se nel passato le condizioni interne alla Villa fossero le stesse di oggi e se, e soprattutto quanto, i cambiamenti climatici esterni hanno influito sul microclima interno di Villa Barbaro.

3.1. Altre possibili applicazioni della metodologia descritta

La metodologia di *monitoraggio* adottata è estremamente semplice ed ha costi ridotti, sia in termini di acquisto e posizionamento delle sonde stesse, sia in quelli di raccolta e gestione dei dati: caratteristiche che rendono possibile immaginarne un'estensione su larga scala. Ad oggi, infatti, risulterebbe utile verificare la possibilità di estendere all'edilizia di larga scala la metodologia proposta nel presente elaborato, per *monitorare* il *microclima interno* di varie tipologie di edifici, non espressamente dedicati ad ospitare beni culturali, in modo tale da poter intervenire anche su edifici di nessun valore storico-architettonico.

Come già sottolineato, uno dei punti di forza della metodologia riportata è costituito dalla possibilità di valutare preventivamente se determinati interventi, architettonici o gestionali, possano aver riscontri positivi o negativi sul manufatto, senza incorrere nel rischio di danneggiare il bene stesso. Questa opportunità, data dalla realizzazione di un modello virtuale, risulta molto utile in campo architettonico, dove non capita mai di poter lavorare su una "copia", sulla quale verificare gli effetti dell'intervento.

Dunque, se un qualsiasi edificio presenta condizioni microclimatiche tali da rendere problematica la sua fruibilità dal punto di vista del comfort delle persone, o mette a rischio la conservazione dei beni in esso conservati, siano essi dipinti, affreschi, arredamenti, ecc., si ha la possibilità di effettuare verifiche preventive sul modello per verificare con quali strategie procedere.

Ovviamente il modello virtuale presenta alcuni limiti: si possono, ad esempio, riscontrare errori di squilibri termici nell'elaborazione dei dati, nel caso in cui si vogliano analizzare, tramite la simulazione fluidodinamica, volumi particolarmente ampi e con un elevato numero di elementi vetrati presenti; non permette inoltre di sapere cosa accade al di sotto di uno strato di intonaco. Grazie al *Virtual Building* è però possibile operare su una serie di varianti interventuali interessanti, come regolare l'apertura e la chiusura di porte e finestre; modificare particolari architettonici; considerare come attivi o come inattivi gli impianti HVAC. Per ogni modifica è possibile operare direttamente sul modello per valutarne gli effetti. Questo permette di intervenire concretamente sui manufatti solo dopo aver acquisito la consapevolezza dell'effettiva efficacia dell'intervento: modalità utile per qualsiasi tipologia di edificio.

Si ritiene dunque che la ricerca condotta permetta di affermare l'assoluta utilità del metodo impiegato al fine di migliorare l'approccio cosiddetto di "restauro preventivo", l'unico davvero in grado di assicurare una conservazione quanto più possibile corretta del patrimonio costruito costitutivo della Villa e del suo contenuto.

Glossario:

Microclima: Clima locale, determinato dalla presenza di peculiari elementi topografici e ambientali.

Monitoraggio microclimatico: Rilevamento di parametri che caratterizzano il microclima, come temperatura, umidità relativa, CO₂, ecc., per una determinata durata di tempo.

Confidential Facility Report (CFR): Protocollo di gestione che mira ad un'ottimizzazione della gestione e della conservazione dei beni culturali

Data Document: Documento facente parte del CFR, compilato dal rilevatore per la descrizione della struttura

Facility Report: Protocollo che va compilato dalla struttura dove sono conservati beni storici culturali

Registration Report: Fase del CFR per accreditarsi secondo gli standard regionali

Executive Summary: sommario che evidenzia le principali criticità e le priorità di azione

Building Information Modelling: metodo per l'ottimizzazione della pianificazione, realizzazione e gestione di costruzioni tramite aiuto di un software

Beesper Nodes: Sonde microclimatiche capaci di rilevare diversi parametri ambientali

Beesper Bridge: Raccoglitore di dati, in grado di trasmetterli alla piattaforma internet

Beesper Console: Piattaforma online per la visualizzazione dei dati da remoto

Virtual building: Modello virtuale

Simulazione Apache: Simulazione termodinamica

Computational Fluid Dynamics: Simulazione fluidodinamica

Calibrazione: Verifica della corrispondenza dei dati ottenuti dalla simulazione e quelli registrati dalle sonde termoigrometriche.

HVAC: Heating, Ventilating and Air Conditioning, ovvero "riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria".

Rischio microclimatico: influenza negativa causata dai tipici parametri microclimatici (Temperatura, Umidità Relativa, Illuminamento, CO₂) alla conservazione di beni.

Registro delle Immagini:

Immagine_1; 2;3 Fonte: www.henesis.eu

Immagine_6 Fonte: www.pinterest.com, modificato con elaborazioni proprie

Immagine_7 Fonte: Guide multimediali accessibili, tour.veasyt.com

Immagine_8 Fonte: libro di G. BELTRAMINI, H. BURNS, “*Palladio*”, Marsilio, Venezia, 2008, p.123

Immagine_9 Fonte: A. PALLADIO, “*I Quattro libri dell’Architettura*”, Hoepli, Milano, 1980, edizione elettronica del 15 Settembre 2009, copia anastatica. Pag. 199

Immagine_10 Fonte: foto dell’autore

Immagine_11 Fonte: www.mediateca.palladiomuseum.org

Immagine_12;13 Fonte: foto dell’autore

Immagine_14 Fonte: Google immagini

Immagine_15 Fonte: foto dell’autore

Immagine_16 Fonte: www.mediateca.palladiomuseum.org

Immagine_17;18;19;20;21;22;23;24 Fonte: foto dell’autore

Immagine_25;26;27;28;29;30;31;32;33;34 Fonte: elaborazioni dell’autore su Excel

Immagine_35;36 Fonte: elaborazioni dell’autore su SketchUp

Immagine_37 Fonte: screen shot da IES.VE

Immagine_38 Fonte: Google maps

Immagine_39;40 Fonte: screen shot da IES.VE

Immagine_41;42;43 Fonte: elaborazioni dell’autore su SketchUp

Immagine_44;45;46 Fonte: elaborazioni dell’autore su Excel

Immagine_47;48;49;50;51;52;53;54 Fonte: elaborazioni dell'autore su IES.VE

Immagine_55;56;57;58 Fonte: elaborazioni dell'autore su Excel

Immagine_59 Fonte: Google immagini

Immagine_60;61 Fonte: elaborazioni dell'autore su Excel

Immagine_62;63;64;65;66;67;68;69;70;71 Fonte: elaborazioni dell'autore su IES.VE

Immagine_71;73;74;75;76 Fonte: elaborazioni dell'autore su Excel

Normativa di riferimento:

Art.29, comma 1 del Decreto Legislativo del 22 gennaio 2004 n.42

Decreto Legislativo del 22 gennaio 2004 n.42

Decreto Ministeriale del 25 Luglio 2000

Norma UNI n.10820, 1999

Norma UNI n.10969, 2002

Norma UNI EN n.15757, 2010

Bibliografia:

- J.S. ACKERMAN, "*Palladio*", Giulio Einaudi Editore s.p.a., Torino, 1972
- J.S. ACKERMAN, "*La villa. Forma e ideologia*", Giulio Einaudi Editore s.p.a., Torino, 1992
- L. ARCHINTI, "*La villa di Maser*" «arte italiana decorativa industriale », IV, 1895
- G.C. ARGAN, "*Andrea Palladio e la critica neo-classica*" «L'Arte», XXXIII, 1930
- G.C. ARGAN, "*Palladio e Palladianesimo*" «Storia dell'Arte», n.38-40, 1980
- W. Arslan, "*Ancora di Paolo Veronese*" «Bollettino della società letteraria veronese», XII, 1936
- M. AZZI VISENTINI, "*Le Ville in Italia. Quattrocento e Cinquecento*", Electa, Milano, 1995
- S. BAGATTI VALSECCHI LANGÈ, "*La villa*" in "*Storia dell'arte Italiana. Parte terza: Situazioni, moment, indagini. Volume quarto: forme e modelli.*", Giulio Einaudi Editore s.p.a., Torino, 1982
- E. BANDELLONI, "*Appunti sulla tipologia, sull'architettura e sulla civiltà di villa veneta*" «Padova », XV, 1969
- L. BALZETTI, "*Ville Venete*", Tamburini editore, Milano, 1965
- F. BARBIERI, "*L'interpretazione grafica del Palladio da parte del Bertotti Scamozzi e le sue conseguenze*" «Bollettino del Centro Internazionale di studi di architettura Andrea Palladio», XII, 1970
- F. BARBIERI, "*Il primo Palladio*" «Bollettino del Centro Internazionale di studi di architettura Andrea Palladio», IX, 1967
- F. BARBIERI, "*Il valore dei Quattro Libri*" «Bollettino del Centro Internazionale di studi di architettura Andrea Palladio», XIV, 1972
- F. BARBIERI, "*Palladio in Villa*" «Bollettino del Centro Internazionale di studi di architettura Andrea Palladio», XV, 1973
- G. BARBIERI, "*Andrea Palladio e la cultura veneta del Rinascimento*", Il Veltro Editore, Roma, 1983

V. BARICHELLA, *“Andrea Palladio e la sua scuola”*, Tipografia Giovanni Gaspari, Lonigo, 1870

U. BASSO, *“Cronaca di Maser, delle sue chiese e della villa palladiana del Barbaro”*, Tipografia G. Faggionato, 1968, Montebelluna

U. BASSO, *“La villa e il tempietto dei Barbaro a Maser di Andrea Palladio”*, Tipografia G. Faggionato, 1976, Montebelluna

D. BATTELOTTI, *“Le Ville di Palladio”*, Electa, Milano, 1990

D. BATTELOTTI, *“Villa Barbaro a Maser: un difficile cantiere”* «Storia dell'arte» LIII, 1985

G. BELTRAMINI, H. BURNS, *“Palladio”*, Marsilio Editore, Venezia, 2008

S. BETTINI, *“La critica dell'architettura e l'arte del Palladio”* «Arte veneta», III, 1949

S. BETTINI, *“Palladio urbanista”* «Bollettino del Centro Internazionale di studi di architettura Andrea Palladio», III, 1961

V. BINI, *“Il modulo compositivo, l'archetipo e le sue derivazioni nelle fronti delle case di villa venete da 14 al 18 secolo”*, Edizioni &, Milano, 1978

G. BODEFELD, B. HINZ, *“Ville Venete”*, Idealibri, Milano, 1990

R. BOSCHI, *“L'architettura della Villa nel Veneto del Cinquecento”* In: A. Gallo *“nella cultura del Cinquecento”*: atti del convegno, Brescia, 23-24 ottobre 1987, a cura di Maurizio Pegrari. Edizioni del moretto, Brescia, 1988

A. CACCIANIGA *“Ricordo della provincia di Treviso”*, Tipografia Zoppelli, Treviso, 1874

A. CAVALLARI MURAT, *“Discorso sui rapporti tra razionalità, funzionalità e composizione nelle ville venete dell'epoca palladiana”* «Bollettino del Centro Internazionale di studi di architettura Andrea Palladio», XI, 1969

A. ENTITA, *“Una lezione di architettura: le ville venete”*, Scuola salesiana del libro, Catania, 1963

A. FRANZINA, *“Andrea Palladio: le ville”*, Touring Editore, Milano, 2002

- J.W. GOETHE, *“Viaggio in Italia”*, (1786-1787), Mondadori, Milano, 2016
- J.J. GLOTON, *“La villa italienne à la fin de la Renaissance. Conceptions palladiennes, conceptions vignolesques”* «Bollettino del Centro Internazionale di studi di architettura Andrea Palladio», VII, 1966
- L. HEYDENREICH, *“La villa: generi e sviluppi fino al paladio”* «Bollettino della società letteraria veronese», XI, 1969
- N. IVANOFF, *“Il sacro e il profano negli affreschi di Maser”* «Ateneo Veneto», I, 1961
- N. IVANOFF, *“La tematica degli affreschi di Maser”* «Arte Veneta», XXIV, 1970
- G. MAZZARIOL, *“Palladio a Maser”*, Lombroso, Venezia, 1965
- G. MAZZOTTI, *“Treviso. Piave. Montello”*, Istituto Geografico De Agostini, Novara, 1983
- D. MENIN, *“Illustrazione d Villa Barbaro ora Giacomelli in Maser”*, Tipo.Lipografia Antonio Longo, Treviso, 1887
- M. MURARO, *“Tipi e architetture delle ville venete”* Canova, Treviso, 1954
- K. OBERHUBER, *“Gli affreschi di Paolo Veronese nella villa Barbaro”* «Bollettino del Centro Internazionale di studi di architettura Andrea Palladio», X, 1968
- P. OJETTI, *“Palladio, Veronese e Vittoria a Maser”*, A. Martello editore, Milano, 1960
- V.L. PALADINI, *“Asolo ed il suo territorio, escursioni e note”*, Tipografia di F. Vivan, Asolo, 1892
- A. PALLADIO, *“I Quattro libri dell’Architettura”*, Hoepli, Milano, 1980, edizione elettronica del 15 Settembre 2009, copia anastatica.
- R. PALLUCCHINI, *“Gli affreschi di Paolo Veronese a Maser. Cinquantotto tavole fuori testo e una bicromia”*, Istituto italiano d’arti grafiche editore, Bergamo, 1939
- R. PANDOLFO, *“Villa Maser gioiello cinquecentesco”* «Rivista illustrata del popolo d’Italia», XIX 1941
- N. PEVSNER, *“Storia dell’architettura europea”*, Editori Laterza, Bari, 1959
- T. PIGNATTI, *“Veronese. La Villa di Maser.”*, Fratelli Fabbri, Milano, 1968

G. PIOVENE, “*Gli affreschi di Paolo Veronese a Maser*” «Civiltà», I, 1940

P. BIEGANSKI, “*I principi della composizione architettonica delle ville palladiane come conseguenza della loro struttura*” «Bollettino del Centro Internazionale di studi di architettura Andrea Palladio», XI, 1969

P. BIEGANSKI, “*Spazi e planimetrie nella villa palladiana come*” «Bollettino del Centro Internazionale di studi di architettura Andrea Palladio», XIV, 1972

P. BIEGANSKI, “*La struttura architettonica di alcune ville di Palladio in rapporto alla loro funzione pratica*” «Bollettino del Centro Internazionale di studi di architettura Andrea Palladio», X, 1968

A. PRA, A. Banchieri, “*Dal castello medievale alla villa veneta*”, Venezia, Verona, Regione del Veneto, Associazione Culturale, 1999

M. PRETELLI “*Restauro e valorizzazione nel secondo decennio del XXI secolo*” In “*Ville lucchesi d’Italia, del mondo. Conoscenza e cura delle dimore di campagna e dei loro giardini*”, a cura di Maria Adriana Giusti, Maria Pacini Fazzi Editore, Lucca, 2016

L. PUPPI, “*Paolo Veronese versus Palladio. La villa e il Giardino dei Barbaro a Maser*” «Eden», 1933

L. PUPPI, “*Rassegna degli studi delle ville venete*” «Bollettino della società letteraria veronese», XII, 1936

V. QUEREL, “*Palladio, Veronese e Vittoria nella villa di Maser*” «L’Arte», 7-8, 1969

M. ROSCI, “*Forme e funzioni delle ville venete prepalladiane*” «L’Arte», 2, 1968

B. RUPRECHT, “*Ville venete del ‘400 e del primo ‘500: forme di sviluppo*” «Bollettino della società letteraria veronese», VI, 1964

C. YRIARTE, “*Le Véronèse à la villa Barbaro*” «Revue des deux mondes», XLIII, 1873

E. ZORZI, “*La villa Barbaro Volpi a Maser*”, S.A.Z., Venezia, 1939

Sitografia:

www.museoenergia.it

www.henesis.eu

www.irv.net

www.pinterest.com

www.biodeterioramento.it

www.arpa.veneto.it

www.books.google.it

www.risorsebeniculturali.fitzcarraldo.it

www.regione.piemonte.it

www.liberliber.it

www.enricaferrero.it/standard-di-qualita-nei-musei

www.villadimaser.it

www.fondazioneccrc.it

www.researchgate.net

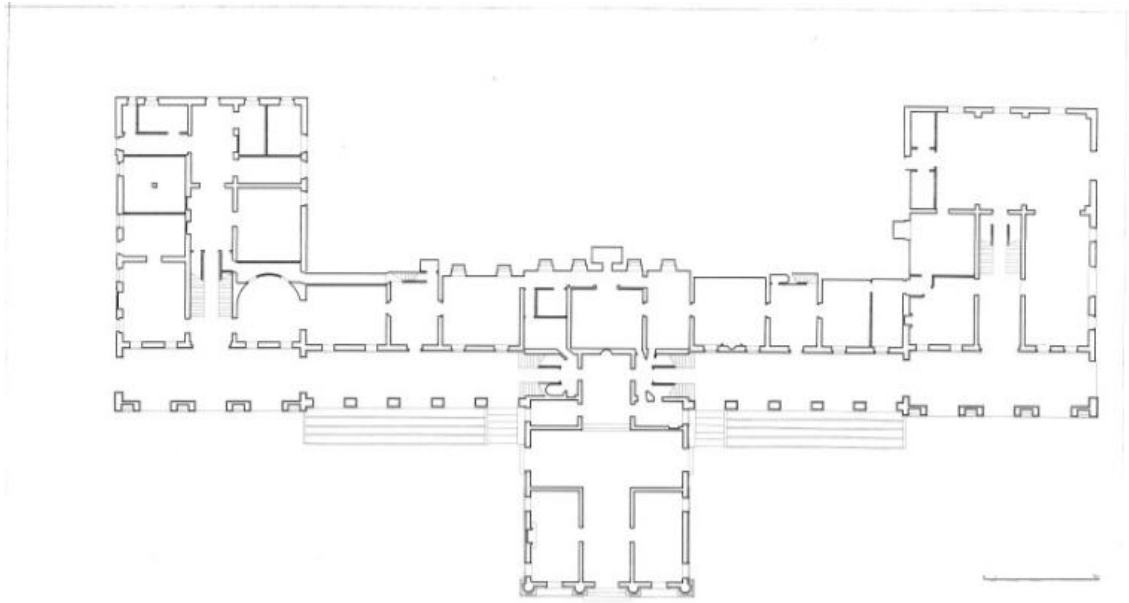
www.ge-iic.com

www.wikilibri.it

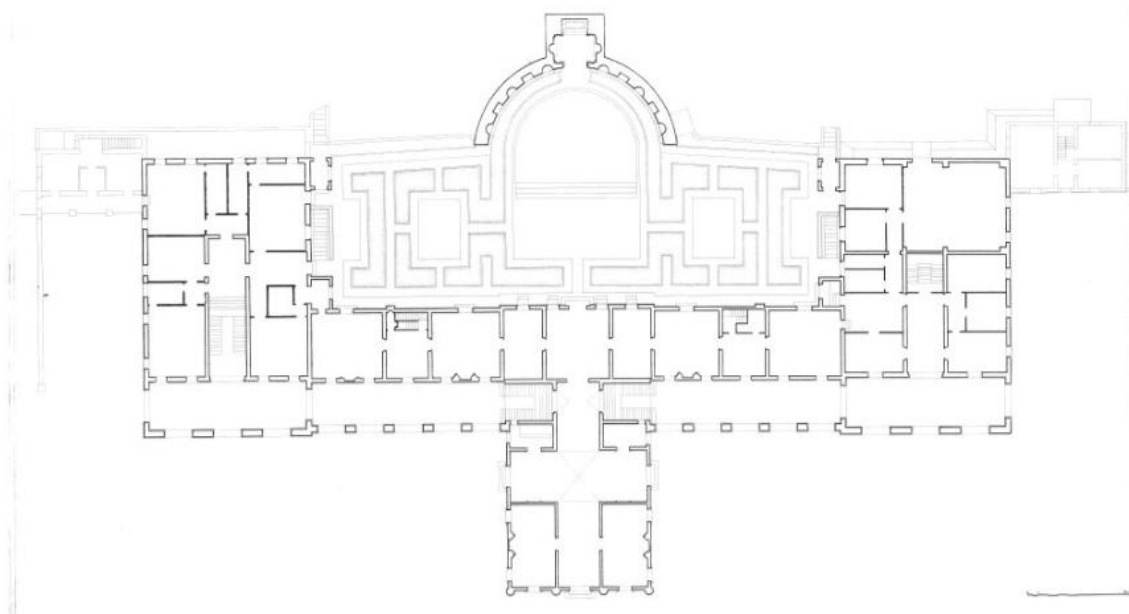
www.mediateca.palladiomuseum.org

Apparato 01: I grafici della Villa

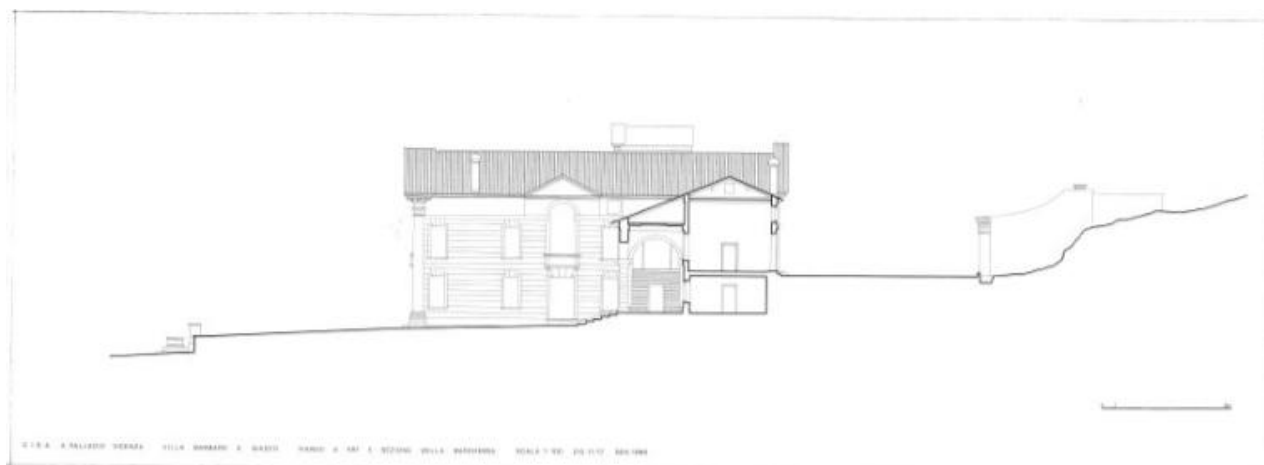
Questi grafici sono stati realizzati per mano dei disegnatori Andrei e Ewa Pereswet Soltan, tra il 1968 e il 1981, per commissione del *Centro Internazionale Studi di Architettura Andrea Palladio*, che ha sede a Vicenza.



Pianta del pianterreno, scala 1:100



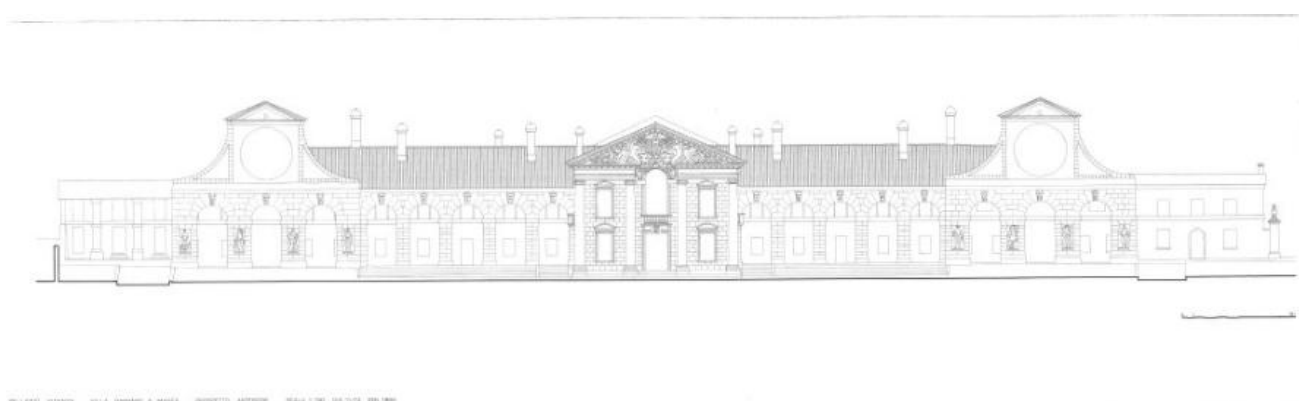
Pianta del piano nobile, scala 1:100



Fianco est e sezione della barchessa, scala 1:100



Sezione trasversale, scala 1:100



Prospetto anteriore, scala 1:100



Particolari porta e finestra, scala 1:10

Ringraziamenti:

Ringrazio il mio relatore Marco Pretelli ed il correlatore Kristian Fabbri per la loro sincerità, simpatia e schiettezza ed allo stesso tempo per la competenza e la professionalità con cui affrontano il proprio lavoro e con cui mi hanno insegnato ad affrontare il mio nel corso di questa tesi. La proprietaria della Villa: Donna Diamante Luling Buschetti Volpi ed il compagno Vittorio, per averci permesso di svolgere le indagini di monitoraggio indoor; Cinzia, per essersi sempre dimostrata disponibile; Ringrazio i compagni che ho conosciuto durante tutto il mio percorso universitario e con cui ho condiviso stanchezza e grandi risate; Benedetta per essere sempre con me, per essere la mia migliore amica e per continuare a crescere insieme da quando ho sei anni, vivendo con emozione ogni scemenza ed ogni evento importante della vita; La nonna “Pupa” per essere Fantastica e i nonni Guido e Anna per tutto quello che sono stati. Ringrazio i miei amici perché sono da sempre ascoltatori attenti, allegri e presenti; i miei genitori e Federico per essere sempre positivi, affettuosi e risolutivi in qualsiasi circostanza e infine Giacomo, per essere mio complice in ogni situazione.